

Aus dem ehem. Institut für Hygiene  
des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf

Prof. em. Dr. med. E. H. Pfeiffer

**Untersuchungen zur Verkeimungskinetik von  
Wäscherkammerwässern Raumlufttechnischer  
Anlagen nach unterschiedlichen Reinigungsverfahren**

**Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Sabine Harder  
aus Hamburg

Hamburg 2007

Angenommen von der Medizinischen Fakultät  
der Universität Hamburg am: 30.10.2007

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen  
Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. E. H. Pfeiffer

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter/in: Prof. Dr. K. Püschel

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in: Prof. Dr. J. Westendorf

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis verwendeter Abkürzungen.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Arbeitshypothese und Fragestellung .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Einleitung .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Darstellung verschiedener Luftbefeuchtungssysteme in RLT- Anlagen.....</b>	<b>10</b>
2.1.1 Umlaufsprühbefeuchtung in Wäscherkammern .....	10
2.1.2 Ultraschallzerstäuber.....	11
2.1.3 Dampfbefeuchter.....	11
<b>2.2 Mögliche Erkrankungen ausgelöst durch RLT-Anlagen .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Infektionskrankheiten ausgelöst durch Legionella spez.....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Pontiac-Fieber .....	14
2.3.2 Legionellose .....	15
<b>2.4 Arbeitsplatzbezogene Erkrankungen .....</b>	<b>16</b>
2.4.1 Sick Building Syndrome .....	16
2.4.2 Building Related Illness .....	18
<b>2.5 Allergische Erkrankungen .....</b>	<b>19</b>
2.5.1 Typ I Allergie .....	19
2.5.2 Typ III / Typ IV Allergie .....	19
2.5.3 Exogen-allergische Alveolitis.....	20
<b>2.6 Toxische Erkrankungen .....</b>	<b>21</b>
2.6.1 Toxische Alveolitis.....	21
2.6.2 Organic dust Toxic Syndrome .....	22
2.6.3 Mucosus Membrane Irritation Syndrome.....	22
<b>3. Material und Methoden .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Auswahl der Anlagen .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Beschreibung des luftführenden Systems .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Beschreibung des wasserführenden Systems .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Gewinnung des Untersuchungsmaterials und Probenverarbeitung</b>	<b>27</b>
<b>3.5 Nährmedien zur Keimanzucht und Testsubstanzen .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6 Bestimmung der Keimzahl und Keimarten .....</b>	<b>30</b>
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Die Gesamtkeimzahlen aller Anlagen im Überblick .....</b>	<b>32</b>

4.1.1 Keimwachstum von Betriebs- und Laborwässern nach dem Reinigungs- und Desinfektionsverfahren mit Dismozon.....	34
4.1.2 Keimwachstum von Betriebs- und Laborwässern nach dem Reinigungs- und Desinfektionsverfahren mit Baccalin und Dismozon .....	35
4.1.3 Vergleich der Wachstumsraten in Betriebs- und Laborwässern nach unterschiedlichen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren.....	35
4.1.4 Vergleich der Wachstumsraten bei 22° und 36°C in Betriebswässern nach 2- und 4-wöchigen Reinigungszyklus mit unterschiedlichen Reinigungsverfahren .....	37
4.1.5 Tagesprofile der Geamtkeimzahlen bei 36 °C am 1. und 7. Tag nach Betriebsbeginn .....	39
4.1.6 Vergleich der Gesamtkeimzahlen von 2 Anlagen bei 36°C im Betrieb, mit neuen stationären Laborwässern nach Desinfektion mit Dismozon und Baccalin.....	40
<b>4.2 Verkeimung der RLT-Anlagen mit Pseudomonaden .....</b>	<b>41</b>
4.2.1 Verlauf des Aufwuchses der Pseudomonaden in Betriebswässern nach unterschiedlichen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren.....	41
4.2.2 Verlauf des Aufwuchses der Pseudomonaden in Laborwässern nach unterschiedlichen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren.....	43
<b>4.3 Aufwuchs der Betriebswässer mit Pilzen, coliforme Keime und Legionellen.....</b>	<b>45</b>
4.3.1 Nachweis von Pilzen .....	45
4.3.2 Nachweis von E. coli und coliforme Keime.....	45
4.3.3 Nachweis von Legionellen.....	46
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>47</b>
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>59</b>
<b>7. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>61</b>
<b>8. Danksagung.....</b>	<b>67</b>
<b>9. Lebenslauf .....</b>	<b>68</b>

## Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

Abb.	Abbildung
EAA	Exogen allergische Alveolitis
BRI	Building related illness
DIN	Deutsches Institut für Normung
GKZ	Gesamtkeimzahl
h	Stunde
KBE	Koloniebildende Einheiten
KZ	Keimzahl
l	Liter
ml	Milliliter
MMI	Mucosus membrane irritation syndrome
ODTS	Organic dust toxic syndrome
Quat	Quarternäre Ammoniumverbindungen
RKI	Robert Koch Institut
RLT	Raumluftechnische Anlagen
SBS	Sick building syndrome
spez.	Species
spp.	Species (Plural)
Tab.	Tabelle
TNF	Tumornekrosefaktor
tox.	toxisch
UV	Ultraviolett
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOC	Volatile Organic Compound
mVOC	Microbial Volatile Organic Compound
WHO	World Health Organisation

## 1. Arbeitshypothese und Fragestellung

Der Betrieb von RLT-Anlagen kann vielfältige Beschwerden verursachen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit den Befeuchtungssystemen gebracht werden. Die Erfahrungen, die in den letzten Jahren mit RLT-Anlagen gemacht wurden, zeigten das der hygienische Zustand der Anlagen einen entscheidenden Faktor für Befindlichkeitsstörungen der Beschäftigten darstellte (Elixmann 1988, Mühlenberg 1988, Kröling 1989, Schata 1995).

Bisher wurde nur der aktuelle Keimgehalt und das Spektrum der Keime im Wäscherkammersystem untersucht. Die Vielzahl von Veröffentlichungen über die mikrobielle Verkeimung der verschiedenen Systeme in Klimaanlage spiegeln nur Momentaufnahmen für eine Keimbelastung zu einem beliebigen Zeitpunkt wieder (Ürlings 1986, Exner und Schulze-Röbbeke 1987, Roßkamp 1990, Pleischel 2004). Desweiteren stellten die häufig bemängelten, erhöht gemessenen Keimzahlen keine Novität dar.

Ziel dieser Arbeit war es nun, die detaillierten mikrobiellen Verhältnisse in Wäscherkammerwässern darzustellen. Dabei war es von Bedeutung, den zeitlichen Verlauf des Bakterienwachstums im täglichen Betrieb innerhalb eines Wartungsintervalls engmaschig und wiederholt zu ermitteln, um die Wachstumskinetik der Bakterien in der Praxis zu bestimmen.

Durch die Versuchsreihen sollten Aussagen über die Abhängigkeit des Keimaufwuchses zu den untersuchten Variablen wie Reinigungs- und Desinfektionsverfahren beziehungsweise Reinigungs- und Desinfektionsfrequenz gemacht werden. Zusätzlich sollte geklärt werden, inwieweit der Abschlämmvorgang durch Zufluß von Frischwasser und Ablassen von Brauchwasser aus den Wäscherkammern einen Einfluß auf die Keimzahlentwicklung hatte. Eine weitere Fragestellung war, ob es zu einer Veränderung der Keimzahl durch einen Eintrag von Bakterien aus dem Luftstrom in die RLT-Anlage kam.

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen war der stetige Vergleich von Betriebswässern zu Wasserproben, die zu Betriebsbeginn aus der Wäscherkammer entnommen wurden und unter Laborbedingungen gehalten wurden, von entscheidender Bedeutung.

Von Seiten der Konstrukteure und Ingenieure wurden Richtlinien und DIN-Normen erstellt, die eine hygienebewußte Planung, Ausführung und Instandhaltung der raumlufttechnischen Anlagen ermöglichen (DIN 1946, DIN EN 779, VDI 6022). Bisher fehlen aber genaue Erhebungen über die detaillierte Verkeimungskinetik der Bakterien in den Befeuchtersystemen. Mit den Ergebnissen dieser Arbeit sollten Empfehlungen für effektive Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen entwickelt werden, dazu war nicht nur die Kenntnis des Wachstumsoptimums sondern auch der Keimkinetik der Mikroorganismen entscheidend.

## 2. Einleitung

Raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) gehören zum Standard der Klimatisierung öffentlicher Gebäude, Hotels, Großraumbüros, Krankenhäuser, Flughäfen, Einkaufs- und Produktionshallen. Die klimatisierten Räume sind, wenn auch oft unbemerkt, zur alltäglichen Umgebung im heutigen Leben geworden. Sie sind in der Lage unterschiedlichen Anforderungen der Betreiber durch die Herstellung jedes gewünschten Raumklimas nachzukommen.

Während in Museen und Bibliotheken gleichmäßige klimatische Bedingungen herrschen müssen, um Schäden zu vermeiden, wird in Versammlungsräumen und Konzerthallen eine adäquate Belüftung sowie Lärmfreiheit angestrebt. In Bürokomplexen soll für angenehme Lufttemperaturen und Luftfeuchte sowie für Vermeidung von Zugluft gesorgt werden. Zusätzlich wird in Laboratorien und Krankenhäusern die Einhaltung der hygienischen Richtlinien gefordert (Exner et al. 1987, Werner und Pietsch 1990, Möhrchen 2002).

Häufig werden bei dem Betrieb von RLT-Anlagen unspezifische Befindlichkeits- und Gesundheitsstörungen beobachtet. Vor allem aerogen übertragene Infektionen und die Auslösung allergischer Reaktionen werden immer wieder diskutiert (Müller 1972, Elixmann 1988, Seifert 1991, Schata 1995). Nach Untersuchungen von Kröling 1989 beträgt in den alten Bundesländern die Zahl der Personen, die regelmäßig in klimatisierten Räumen arbeiten ca. 2,5 Millionen Menschen, davon klagt jeder 5. Beschäftigte über häufige Erkältungen, Kopfschmerzen, Schleimhautreizungen oder Müdigkeit, die über das übliche Maß in konventionellen Gebäuden hinaus geht. In groß angelegten Studien wurden zahlreiche Faktoren ermittelt, die mit dem Auftreten solcher unspezifischen Symptome in Verbindung gebracht werden (Finnegan 1984, Kröling 1989, Cooley et al. 1998, Kubo et al. 2006). Dabei ist die RLT-Anlage als wichtigster Risikofaktor zu sehen (Möriz et al. 2001, Pleischel et al. 2001).

In diesem Zusammenhang kommt den Befeuchtersystemen der Klimaanlage eine wesentliche Bedeutung zu. Unter hygienischen Gesichtspunkten besteht

besonders in den Wäscherkammern die Gefahr, dass aus dem Wasser Keime und Bestandteile von Mikroorganismen an die Luft weiter gegeben werden. Zusätzlich können sich in durchfeuchteten Kanälen, Filterstufen und Wäscherkammern günstige Bedingungen unter anderem für Bakterien und Pilze entwickeln (Elixmann 1988, Schata 1995).

Um dieser Gefahr entgegen zu wirken, wurden in der Bundesrepublik Deutschland Richtlinien und DIN-Normen erarbeitet (DIN 6022, DIN 1946, DIN EN 779). Zwar gibt es in Deutschland viele Vorschriften für den sicheren technischen Betrieb von Kimaanlagen, diese geben aber nur Empfehlungen, gesetzlich geregelte Hygienestandards bestehen jedoch nicht.

In diesem Rahmen haben regelmäßige Reinigungen und Desinfektionen bzw. Hygienekontrollen von fachkundigem Personal einen immens hohen Stellenwert. Nach langjähriger Diskussion über einen Zusammenhang zwischen RLT-Anlagen und Gesundheitsstörungen wurde deutlich, dass der jeweilige Hygienestatus dafür verantwortlich ist, ob es zu einer negativen gesundheitlichen Beeinträchtigung der Beschäftigten kommt (Exner und Schulze-Röbbeke 1987, Elixmann 1988, Cooley et al. 1998, Burge 2004).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich nun mit dem hygienischen Zustand nach verschiedenen Reinigungsverfahren in Wäscherkammern von RLT-Anlagen eines Hamburger Großraumbürogebäudes. Hier ist es, aufgrund der erhöht nachgewiesenen Keimzahlen im Wäscherwasser zwingend nötig geworden, grundlegende Veränderungen und Modifikationen der Desinfektions- und Reinigungsverfahren zu erarbeiten. Diese machten es erforderlich engmaschige Keimzahlbestimmungen durchzuführen, um einen detaillierten Einblick über den Verlauf der Verkeimungskinetik in der Wäscherkammer zu erhalten. Erst durch diese Ergebnisse sollte es möglich werden, Änderungen im Reinigungszyklus sowie der Desinfektionsverfahren zu empfehlen.

## **2.1 Darstellung verschiedener Luftbefeuchtungssysteme in RLT-Anlagen**

Während sich die Bauweise von Klimaanlage groborientierend ähnelt, bestehen für die Befeuchtungseinheiten jedoch große Unterschiede bezüglich des Funktionsprinzipes.

### **2.1.1 Umlaufsprühbefeuchtung in Wäscherkammern**

Als häufigstes Befeuchtungssystem in RLT-Anlagen werden Luftwäscherkammern installiert. In der Wäscherkammer wird Wasser aus einer Vielzahl von übereinander und nebeneinander angeordneten Düsen versprüht. Die angesaugte Außenluft durchströmt die Kammer und wird durch Vernebeln von Wasser befeuchtet. Der Hauptteil der versprühten Wassermenge fällt in die Bodenwanne der Wäscherkammer zurück und wird dann in die Düsen gepumpt, um wieder zur Befeuchtung verwendet zu werden. Da die Wäscherkammer durch Stäube, Verdunstung und Mikroorganismen einer hohen Verschmutzung ausgesetzt ist, wird durch Abschlämmen des Brauchwassers aus der Bodenwanne und Zulauf von Frischwasser die Verunreinigung in Grenzen gehalten. Trotzdem bleiben eine Vielzahl von wassertechnischen und hygienischen Problemen, die nur mit großem Aufwand gelöst werden können. Das häufigste Problem stellt die Verkeimung des Wäscherkammerwassers und der damit verbundene Keimeintrag in die Raumluft dar. Aerosole können die an den Düsen befindlichen Mikroorganismen in die Raumluft tragen. Feuchtflächen innerhalb der Lüftungskanäle können einen Nährboden für Pilze und Algen bilden. Daraus resultieren regelmäßige Wartungs- und Reinigungsarbeiten, mit zusätzlicher Desinfektion der Wäscherkammer inklusive der Düsenstöcke. Ein ständiges Zuführen eines Desinfektionsmittel ist jedoch gesundheitlich bedenklich.

### **2.1.2 Ultraschallzerstäuber**

Die Ultraschallzerstäuber bilden Aerosole, mit deren Hilfe die Luft befeuchtet wird. Ein Schwingungsumwandler ist in einer Wasserwanne mit Wasser überdeckt und bringt Wasserpartikel so zum Schwingen, dass schwebfähige Aerosole entstehen. Im Bereich der Wasseroberfläche lösen sich feine Tröpfchen mit einem Durchmesser von 1 Mikron (0,001mm) ab. Der so entstandene feine Nebel wird durch die vorbeistreichende Luft von der Wasseroberfläche weggeführt. Die Teilchengröße im so entstehenden Wassernebel lässt sich in Abhängigkeit der Frequenz variieren. Am Kleinsten ist sie im Ultraschallbereich. Diese Geräte zeichnen sich durch eine tropfenarme Wirkungsweise aus. Jedoch ist bei Verkeimung des Befeuchterwassers mit einem Austrag von Pilzen, Bakterien und deren Zerfallsprodukte zu rechnen. Seit einigen Jahren werden diese Geräte besonders im Privatenbereich eingesetzt.

### **2.1.3 Dampfbefeuchter**

Neben den Luftwäschern, werden Dampfbefeuchter als zweithäufigste Luftbefeuchter in RLT-Anlagen verwendet. Ein Dampfbefeuchter besteht aus einem Dampfkessel, in dem Wasser zum Kochen gebracht wird und verdampft. Der Dampf kann direkt der Zuluft zugeführt werden. Um eine Tropfenbildung zu verhindern sollte die Befeuchtungsstrecke im Lüftungskanal ausreichend lang bemessen sein. Dampfbefeuchter arbeiten keimarm, trotzdem kann es aber durch Feuchtflächen in den Luftkanalinnenseiten zur Besiedelung von Mikroorganismen kommen.

#### **2.1.4 Hybrid – Luftbefeuchtung**

Hier werden zwei Befeuchtungstechniken kombiniert. Zunächst wird das Befeuchterwasser mittels Düsen fein zerstäubt. Anschließend wird der Sprühnebel von porösen Keramikelementen aufgenommen und verdunstet. Das entstehende Überschußwasser wird abgeleitet. Es wird nur mit entmineralisiertem Frischwasser gearbeitet. Zusätzlich besteht eine systemeigene Silberionisierung, die dem Wachstum von Mikroorganismen entgegen wirkt. Um eine Verunreinigung des Befeuchterwassers zu vermeiden, wird dem Luftstrom zusätzlich ein Feinfilter vorgeschaltet. Bei diesem Befeuchtungssystem ist mit wenig hygienischen Problemen zu rechnen, in Großanlagen findet es jedoch wenig Beachtung.

#### **2.2 Mögliche Erkrankungen ausgelöst durch RLT-Anlagen**

Die Verbreitung von Krankheitserregern durch RLT-Anlagen, sowie die möglichen Befindlichkeitsstörungen sind seit langem bekannt (Elixmann 1988, Kröling 1989, Seifert 1991). Die Keime aus der Außenluft, sowie die natürlicherweise im Wasser vorkommenden Mikroorganismen können in die Befeuchtersysteme von RLT-Anlagen gelangen. Finden sie günstige Bedingungen vor, so sind sie in der Lage zu überleben und sich zu vermehren (Jäggi und Schmidt-Lorenz 1990, Schata 1995, Boe-Hansen 2001). Zu diesem Spektrum gehören Viren, Bakterien, Pilze, Sporen und Algen. Die luftgetragenen biologischen Partikel werden als Bioaerosole bezeichnet. Darunter fallen nicht nur die obengenannten Mikroorganismen selbst, sondern auch deren Stoffwechselprodukte. Dazu gehören auch Zellprodukte (Enzyme), Zellzerfallsprodukte (Glucane und Endotoxine), mikrobiell flüchtige organische Verbindungen (mVOC) sowie Mycotoxine. Über die Lüftungsschächte und Filterstufen kann es dann zu einer Kontamination der Arbeitsräume mit krankheitserregenden Keimen und deren Zerfallsprodukte kommen.

### **2.3 Infektionskrankheiten ausgelöst durch Legionella spez.**

Die durch Legionellen verursachten Erkrankungen sind akute bakterielle Infektionen des Respirationstraktes. Die Legionellen gehören zur Familie der Legionellaceae, sie umfasst nach heutigem Kenntnisstand 48 Spezies mit 70 Serogruppen. Die wichtigste Art für die Erkrankung des Menschen ist Legionella pneumophila mit zur Zeit 16 bekannten Serogruppen (RKI 2005). Alle Legionellen können grundsätzlich als humanpathogen angesehen werden, wobei ca. 90% aller Infektionen auf Legionella pneumophila zurückzuführen sind (Muder und Yu 2002). Dabei ist die Serogruppe 1 von besonderem Interesse. In einer internationalen Studie konnten Yu et al. (2002) von 508 untersuchten Patienten mit Legionellose 84.2% der Serogruppe 1 isolieren, die Serogruppen 2-13 traten nur zu 7.4% auf. In Meerwasser bzw. Salzwasser sind die Legionellen allein nicht lebensfähig (RKI 2006). Die idealen Bedingungen für die Vermehrung liegen in Temperaturbereichen zwischen 25°-42°C, nachgewiesen wurden Legionellen jedoch in Temperaturbereichen von 0°-63°C. Zusätzlich sind sie, eingebettet in Amöben und Biofilmen, chlortolerant und damit in der Lage auch Wasseraufbereitungsverfahren zu überleben (Exner und Schulze-Röbbeke 1987, Exner et al. 1987).

Daher kolonisieren sie Hausinstallationen in Hotels und Krankenhäusern, sowie Schwimmbädern, Klimaanlage, Dentaleinheiten und Rückkühlwerken (Uerlings et al. 1986, Schneitler 1991, Dermitzel et al. 1992, Pleischel 2004). Erhöhte Konzentrationen von Legionella pneumophila finden sich besonders dann, wenn die Systeme schlecht gewartet werden, die Rohr- und Schlauchsysteme über längere Zeit stagnieren oder durch Bildung von Biofilmen günstige Lebensbedingungen geschaffen wurden (Ciesielski et al. 1984, Baumert et al. 1998, Cowgill et al. 2005).

Es scheint dabei aber keine erkrankungsabhängige Infektiosdosis zu existieren. Auch bei relativ niedrig nachgewiesenen Konzentrationen von Legionellen im Warmwasser kann es zu Erkrankungen kommen. Andererseits kann trotz höherer Konzentrationen eine Erkrankung ausbleiben. Dieses Dosis-Wirkungs-Paradoxon wurde in Untersuchungen von Heudorf et al. (2001) nachgewiesen.

Daraus lässt sich ableiten, dass nicht nur die Anzahl der Legionellen sondern auch die Virulenz der Keime für eine Infektion entscheidend ist.

Die Ansteckung erfolgt durch Inhalation bakterienhaltigen Wassers als Aerosol oder durch Aspiration von legionellenhaltigem Wasser. Eine Übertragung von Mensch zu Mensch wurde bisher nicht beschrieben.

Seit dem Jahr 2001 besteht in Deutschland nach Einführung des Infektionsschutzgesetzes (IfSG) gemäß § 7 eine Meldepflicht für die Legionellose. Im Jahre 2004 wurden 475 Legionellosen gemeldet. Dies entspricht einer Inzidenz von 6 Erkrankungen pro 1 Mio. Einwohner in der BRD. Gegenüber dem Vorjahr ist die Zahl damit um 20 % in Deutschland angestiegen. In Spanien liegt die Inzidenz bei 34,1 pro 1 Mio. Einwohner und in Dänemark bei 19,2 (RKI 2005).

Oft wurden Legionellosen aber nicht richtig diagnostiziert. So sprechen Stout und Yu (1997) in ihren Untersuchungen davon, dass nur 3% der sporadischen Legionellosen korrekt diagnostiziert wurden.

Die *L. pneumophila* Infektion kann sich in zwei klinisch unterscheidbaren Krankheitsbildern manifestieren, dem **Pontiac-Fieber** und der **Legionellose** (Legionärskrankheit, Legionella-Pneumonie).

### 2.3.1 Pontiac-Fieber

Das **Pontiac-Fieber** wurde nach einer Epidemie 1968 in Pontiac USA benannt und ist eine akute aber leichte, grippeähnlich verlaufende Erkrankung. Die Inkubationszeit beträgt 1-2 Tage, mit sehr hoher Erkrankungsrate, denn bei mehr als 90% der Exponierten manifestieren sich die Erkrankung auch klinisch. Die Krankheit beginnt mit Kopf- und Gliederschmerzen, Unwohlsein, Fieber, Husten und Schwindel. Eine Pneumonie tritt beim Pontiac-Fieber nicht auf. Während die Patienten in den ersten Tagen ein erhebliches Krankheitsgefühl haben, führt die Erkrankung meist innerhalb einer Woche zur fast vollständigen Ausheilung. Daher ist eine symptomatische Therapie völlig ausreichend (Jones et al. 2003). Fields et al. (2001) diskutieren das Auftreten von Pontiac-Fieber

nach Benutzung eines Hotelswimmingpools und Whirlpools durch eine zusätzliche Beteiligung von Endotoxinen aus Legionellaceae.

### 2.3.2 Legionellose

Die **Legionellose** ist eine schwer verlaufende atypische Pneumonie. Sie verdankt ihre Benennung dem Tagungstreffen in einem Hotel in Philadelphia, bei dem 1976 188 Veteranen an einer akuten Pneumonie erkrankten, von denen 34 Personen verstarben (MSD 2000). Die Inkubationszeit beträgt 2-10 Tage, hat aber eine niedrige Erkrankungsrate. Durch die Aufnahme der Erregern durch Einatmen kontaminierter Aerosole oder Aspiration von legionellenhaltigem Wasser wird die Erkrankung übertragen. Auch die Infektion durch infizierte Amöben ist möglich, denn Legionellen aktivieren intrazellulär ihre Virulenzgene (RKI 2006).

Bei der Inhalation gelangen die Legionellen in die tiefen Atemwege und lösen dort entzündliche Veränderungen in den Alveolen und terminalen Bronchiolen aus. In Laboruntersuchungen konnten Horowitz und Silverstein (1981) die Vermehrung von *L. pneumophila* in menschlichen Alveolarmakrophagen nachweisen.

Das klinische Spektrum reicht in der Frühphase von unspezifischen Symptomen, mit Kopfschmerzen, Myalgien, Fieber, wässrigen bis selten blutigen Stühlen über fulminant verlaufende schwerste Pneumonien mit Benommenheit, Bewusstlosigkeit, Thoraxschmerzen, Abdominalschmerzen, Schüttelfrost und Luftnot. Die Letalitätsrate liegt in Deutschland bei 6% mit Therapie, bei immunsupprimierten Patienten kann sie deutlich ansteigen (RKI 2006). Die Ausheilung ist meist langwierig, in einigen Fällen bleiben eingeschränkte Lungenfunktion oder Fibrosen und chronische Vaskulitiden bestehen.

## 2.4 Arbeitsplatzbezogene Erkrankungen

### 2.4.1 Sick Building Syndrome

Das **Sick Building Syndrome** (SBS) ist eine, auf Innenräume bezogenen unspezifische Erkrankung sowohl für Personengruppen, als auch für Einzelpersonen in gewerblichen, öffentlichen und privaten Gebäuden.

Seit Mitte der 70er Jahre werden zunehmend Erkrankungen registriert, die sich wegen ihrer unspezifischen Symptome in kein bekanntes Schema fügen lassen. Dabei handelt es sich vor allem um Befindlichkeitsstörungen von Personen die sich häufig in großen Bürogebäuden, gelegentlich auch in Schulen, Krankenhäusern und Labors aufhalten. Auffallend ist, dass die Betroffenen über Beschwerden klagen, sobald sie sich in bestimmten Gebäuden aufhalten. Diese Beschwerden bessern sich erst wieder, wenn sie einen Arbeitsplatz in anderen Räumen beziehen oder längere Zeit aus diesen Gebäuden abwesend sind. Die Beschäftigten klagen über Infektanfälligkeit, Kopfschmerzen, Müdigkeit, sowie Reizungen der Augen-, Nasen- und Rachenschleimhaut.

Finnegan et al. (1984) führten die erste breitangelegte Studie über 2 Jahre mit Beschäftigten aus insgesamt 9 Bürogebäuden durch. In ihrer Veröffentlichung kommen sie zu dem Ergebnis, dass in den Gebäuden mit RLT-Anlagen signifikant höhere Beschwerden in Bezug auf Schleimhautreizungen und Kopfschmerzen auftreten, als in denen ohne Klimaanlage.

Kröling (1989) kann in seiner Studie unterstützende Ergebnisse liefern. Von den rund 2,5 Millionen Bürgern der alten Bundesländern, die in klimatisierten Räumen arbeiten, klagen bereits 20 % unter Gesundheitsstörungen. So leiden in diesem Zusammenhang Personen an einem klimatisierten Arbeitsplatz doppelt so häufig unter Neigungen zu Erkältungen, Reizungen der Schleimhäute und Energielosigkeit als Personen in konventionell beheizten Büros.

Die WHO (1983) fasste nach einer Definition fünf Leitsymptome zu dem Sick Building Syndrom zusammen.

- kutan : Trockenheit der Haut, Rötungen, Brennen, Jucken
- oropharyngeal : Reizerscheinungen der Atemwege, Trockenheit, Heiserkeit
- nasal : Trockenheit der Schleimhäute, Geruchsstörungen, Atmungsbehinderungen
- okular : Irritationen der Bindehaut, Trockenheit, Tränenträufeln
- zentrales Nervensystem : Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsschwäche  
Schwindel

Da das SBS nur als Ausschlußdiagnose gilt, müssen zunächst andere Erkrankungen abgeklärt werden. Um aus den vielfältigen Symptomen das SBS zu diagnostizieren, wurden Fragebögen von verschiedenen Arbeitsgruppen entwickelt (Finnegan et al. 1984, Kröling 1989). Entscheidend bei der Diagnosefindung ist, dass die Symptome einige Zeit nach Verlassen des Gebäudes wieder abklingen oder völlig verschwinden. Bei erneutem Betreten der Gebäude kommt es zu wiederkehrender Symptomatik. Dabei ist die Dauer bis zur Besserung abhängig von der Schwere der Erkrankung.

Neben physikalischen Faktoren (Luftfeuchtigkeit, Luftaustausch, Temperatur, Schall und Befeuchtung), können auch chemische Faktoren (Tabakrauch, Schwebstaub, anorganische Gase und flüchtige organische Verbindungen) mit dem Auftreten von SBS-Beschwerden in Verbindung gebracht werden (Kröling 1989, Seifert 1991, Burge 2004).

Das SBS entsteht jedoch nicht nur durch ungünstige physikalische und chemische Faktoren, sondern auch durch psychologische Faktoren, wie z. B. Betriebsklima, Arbeitsorganisation und Jobzufriedenheit (Wolf und Barth 2002, Burge 2004).

Kubo (2006) konnte in seiner Studie zeigen, dass es auch einen Zusammenhang zwischen Bildschirmtätigkeit und SBS-Beschwerden gibt. Dabei erkrankten die Beschäftigten mit mehr als 4 h Bildschirmtätigkeit täglich

häufiger als die Personen mit weniger als 1 h täglich. Frauen erkranken in diesem Vergleich doppelt so häufig wie ihre männlichen Kollegen.

Eine ebenfalls wichtige Rolle zur Entstehung von SBS-Beschwerden spielen biologischen Produkte. Dazu zählen Mikroorganismen, wie Bakterien und Pilze, sowie deren Zerfallsprodukte und Metabolite, bekannt als Endotoxine und microbial Volatile Organic Compounds (mVOC). Besonders das Auftreten von Schimmelpilzen der Gattung *Penicillium* und *Stachybotrys* lassen einen Zusammenhang zur erhöhten Erkrankungsrate beim SBS erkennen (Cooley et al. 1998).

Insbesondere Pilze und Bakterien können sich in durchnässten Wänden, Teppichen und in den unterschiedlichen Systemen der Klimaanlage absetzen. Im Befeuchtersystem oder auf Filterstufen können sie für die Entstehung von lästigen Gerüchen und zu Irritationen der oberen Luftwege führen (Elixmann 1988, Schata 1995). Auch in den wasserführenden Rohrsystemen und Wasserspeichern kann es zum Wachstum und durch die Entstehung von Biofilm, zu einer ständigen Wiederverkeimung mit Mikroorganismen führen (Tuschewitzki 1990, Volk 2001).

#### **2.4.2 Building Related Illness**

Die **Building Related Illness** (BRI) darf nicht mit dem SBS verwechselt werden, da es sich ebenfalls um eine gebäudebedingte Gesundheitsstörung handelt, werden beide Begriffe gelegentlich synonym verwendet. Im Gegensatz zum SBS handelt es sich beim BRI um klar definierte klinische Krankheitsbilder. Die Beschwerden sind spezifisch und lassen sich auf den Aufenthalt in einem Gebäude zurückführen. Der Auslöser befindet sich in den Gebäuden selbst. Auch nach Verlassen des Gebäudes verschwinden die Symptome nicht und halten über mehrere Tage an. Typische Erkrankungen sind das Befeuchterfieber, Legionellose, Schimmelpilz- und Hausstaubmilbenallergie, Asthma (Seifert 1991, Welch 1991, Wiesmüller und Bischof 2006).

## 2.5 Allergische Erkrankungen

Nach Coombs und Gell werden die Allergien in 4 Typen unterteilt. Im Zusammenhang mit Lüftungstechnischen Anlagen und Befeuchtungssystemen können Typ I, Typ III und Typ IV Allergien auftreten. Typische Allergene sind Schimmelpilze und deren Sporen, tierische Proteine und chemische Substanzen die in Form von Stäuben inhaliert werden (Kampen v. et al. 2000).

### 2.5.1 Typ I Allergie

Die **Typ I Allergie** zeichnet sich durch allergischen Schnupfen, Asthma bronchiale, allergische Konjunktivitis und Urtikaria aus. Symptome wie Juckreiz, Bindehautentzündungen, Fließschnupfen, Quaddeln und Atemnot treten innerhalb der ersten halben Stunde auf. 15-20 % der Bevölkerung in westlichen Industriestaaten leiden an manifesten Typ I Allergien. Schimmelpilze gehören zu den wichtigen Innenraumallergenen, dabei sind die Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium* im Innenraum sowie *Alternaria* und *Cladosporium* in der Außenluft die wichtigsten Vertreter. Man geht davon aus, dass Personen mit erblicher Disposition zu Typ I Allergien besonders gefährdet sind sensibel gegenüber Schimmelpilzallergenen zu reagieren (Schata 1995). Zur Auslösung einer allergischen Reaktion bei sensibilisierten Personen sind Konzentrationen von  $10^2$  Sporen/m<sup>3</sup> Luft ausreichend. Für eine Erstsensibilisierung sind wahrscheinlich relativ höhere Konzentrationen erforderlich (Umweltbundesamt 2004). Als Reservoir dienen in zwangsbelüfteten Räumen nicht nur die Befeuchter sondern auch die Filterstufen vor und hinter der Befeuchtereinheit, und stellen damit ein Risiko für die Kontamination der Raumluft dar (Elixmann 1988).

### 2.5.2 Typ III / Typ IV Allergie

Die **Typ III / Typ IV Allergie** können gleichzeitig nebeneinander auftreten, klinisches Korrelat ist die **exogen-allergische-Alveolitis**. Es handelt sich dabei

durch die inhalative Aufnahme von Antigenen um eine immunologisch vermittelte, überwiegend interstitielle Pneumonie (Ring 2004).

Pathogenetisch entwickelt sich eine Typ-III-Immunreaktion im Bereich der Alveolen und terminalen Bronchien. Die Sensibilisierungsphase kann hierbei mehrere Jahre dauern und resultiert in der Bildung von IgG-Antikörpern, selten auch IgA-Antikörper. Über eine Typ-IV-Reaktion vom verzögerten Typ mit Komplementaktivierung und Komplexbildung kommt es zur Entzündung im Bereich der Alveolarsepten. Bei den Betroffenen kommt es je nach dem Ausmass der Antigen-Exposition zu akuten Entzündungsreaktionen, bisweilen auch zu chronischen Fibrosierungsprozessen ( Minder und Nicod 2005).

### **2.5.3 Exogen-allergische Alveolitis**

Da diese Erkrankung klinisch unter einem pneumonieähnlichen Bild verläuft, existieren viele synonyme Bezeichnungen:

**Exogen-allergische Alveolitis** (Kämpfer et al. 2005),

**Hypersensitivitätspneumonitis** (Suda und Sato 1995),

**Befeuchterlunge** ( Baur et al. 1988),

**Interstitielle Pneumonie.**

Um eine einheitliche Bezeichnung in den europäischen Ländern für diese Erkrankung zu erreichen, wurde sie auf Empfehlung des ärztlichen Sachverständigenbeirates, 1986 als EAA in den Katalog der Berufskrankheiten unter BK Nr. 4201 aufgenommen. Die EAA tritt überwiegend in Berufen auf, in denen verstärkt organischer Staub mit Schimmelpilzen oder Tierereiweißbestandteilen eingeatmet wird. Die Partikel führen zu einer allergischen Entzündung des Lungengewebes. Je nach Beruf wird die EAA auch als Farmerlunge, Vogelhalterlunge oder Befeuchterlunge bezeichnet.

Besonders Drucker können an einer Befeuchterlunge erkranken, da in Druckereien die Raumluft stetig mit Luftbefeuchtern klimatisiert wird. In der Allgemeinbevölkerung sind neuerdings befeuchterassoziierte Erkrankungen

durch die Verwendung von Luftbefeuchtern und Kaltverneblern aufgetreten. Die Patienten hatten Fieber, Husten und Atemnot (Suda und Sato 1995, Müller-Wening et al. 2005). Es sind bereits auch Krankheitsfälle durch die Verwendung von Dampfbügeleisen berichtet worden (Kämpfer et al. 2005).

Klinisch unterscheidet man einen akuten Verlauf: 4 - 9 h nach Allergenkontakt kommt es zu Fieber, Husten, Auswurf, Dyspnoe, Tachypnoe mit zentraler Zyanose. Häufig werden diese Beschwerden mit einer Grippe oder Pneumonie verwechselt. Kommt es zu keiner neuen Allergenexposition klingen die Symptome kontinuierlich ab. Bei erneutem Allergenkontakt verstärken sich die Symptome. Beim chronischen Verlauf entwickelt sich eine schleichende progrediente Atemnot, sowie chron. Husten mit starker Müdigkeit und Gewichtsverlust. Weitere Allergenkontakte führen zu Lungenfibrose mit respiratorischer Insuffizienz bis zum Cor pulmonale und Lungenemphysem (Minder und Nicod 2005).

## **2.6 Toxische Erkrankungen**

### **2.6.1 Toxische Alveolitis**

Von den allergischen Ursachen der exogen allergischen Alveolitis abzugrenzen sind die toxischen Effekte der Stoffwechselprodukte wie Enzyme, Mycotoxine und die flüchtigen microbial volatile organic compounds (mVOC) sowie Bestandteile der Pilzzellwand (Glucane) und die von gramnegativen Bakterien erzeugten Endotoxine. Bei einer toxischen Alveolitis handelt es sich um ein EAA ähnliches Krankheitsbild. Seine Symptomatik und die zeitliche Latenz ihres Auftretens entspricht der EAA (auch Befeuchterlunge genannt). Die Symptome bei der toxischen Alveolitis (auch Befeuchterfieber genannt) treten jedoch nur passager auf, es zeigen sich weder spirometrische noch radiologisch pathogene Befunde. Desweiteren klingen die Beschwerden innerhalb von 24 - 48 h wieder folgenlos ab. Die Ursache der toxischen Alveolitis (Befeuchterfieber) wird in einer unspezifischen Immunstimulation durch inhalative Endotoxine und Mycotoxine gesehen, die auch auf Verunreinigungen

in Befeuchteranlagen zurückzuführen sind (Flaherty et al. 1984, Baur et al. 1988, Ohnishi et al. 2002).

### **2.6.2 Organic dust Toxic Syndrome**

Ebenfalls auf die toxische Wirkung von Endotoxinen und Glucanen wird das **Organic Dust Toxic Syndrome** (ODTS) zurückgeführt. Anders als bei allergisch bedingten Erkrankungen bedarf es beim ODTS keiner Sensibilisierungsphase vor Ausbildung der Krankheitserscheinungen. Etwa 1-2 h nach Exposition erfolgt durch die Alveolarmakrophagen die Ausschüttung von chemotaktischen Substanzen und Mediatoren des Immunsystems. Dabei handelt es sich vor allem um Interleukin 1 und TNF alpha. Das Syndrom verläuft akut, klinisch ähnlich wie die toxische Alveolitis (Befeuchterfieber). Nach einer Latenz von 4-12 h, treten unspezifische Symptome wie leichte Fieberschübe mit Husten auf. Im Einzelfall wird es jedoch schwierig sein, klar zwischen toxischen und allergischen Auslösern zu unterscheiden. Wird jedoch in einer Personengruppe, die gemeinsam einer hohen Exposition ausgesetzt wurde, nachfolgend ein erhöhtes Auftreten von Erkrankungen festgestellt, so kann von einer toxischen Ursachen ausgegangen werden (Radon und Nowak 2003). Beim ODTS und der toxischen Alveolitis/Befeuchterfieber lassen sich im Gegensatz zur EAA/Befeuchterlunge keine auffälligen auskultatorischen, spirometrischen und radiologischen Befunde erheben (v. Essen 1999). Die Auslösung eines ODTS erfordert laut Umweltbundesamt (2004) jedoch hohe Konzentrationen organischem Materials insbesondere bei Keimbelastungen von mind.  $10^6$  KBE/m<sup>3</sup>.

### **2.6.3 Mucosus Membrane Irritation Syndrome**

Für das sogenannte **Mucosus Membrane Irritation Syndrome** (MMI) sind reizende und toxische Wirkungen der Mikroorganismenaerosole verantwortlich. Es manifestiert sich in einer unspezifischen Reizung der Schleimhäute von Augen und Atemwegen bei Exposition gegenüber biologischer Aerosole und Tabakrauch (Bascom 1991). Auch hier können Fieber mit Entzündung der

Atemwegsschleimhäute und der Bindehäute auftreten. Das MMI kann bereits durch mittlere Konzentrationen biologischer Aerosole bei einem Keimgehalt in Höhe von  $10^3$  KBE/m<sup>3</sup> ausgelöst werden (Umweltbundesamt 2004).

## **3. Material und Methoden**

### **3.1 Auswahl der Anlagen**

Untersucht wurden 7 von 21 RLT-Anlagen eines Hamburger Versicherungsunternehmens. Sie versorgen die Großraumbüros des Unternehmens. Es handelt sich dabei um Vollklimaanlagen gemäß DIN 1946.

### **3.2 Beschreibung des luftführenden Systems**

Die Anlagen, sowie die technische Schaltzentrale befinden sich im 4. Untergeschoß des Gebäudekomplexes. Die Anlagen wurden im Jahre 1974 erbaut. Die Luftansaugstelle der Anlagen befindet sich auf der Ostseite des Gebäudes und liegt 3 Meter über dem Erdniveau. Die Öffnung des Ansaugrohres ist zum Schutz vor grober Verschmutzung mit Metallamellen gesichert. Zur Reinhaltung der Anlagenelemente ist ein Vorfilter der Filterklasse EU 4 (30% Wirkungsgrad für atmosphärischen Staub, DIN EN 779) direkt hinter der Ansaugstelle installiert.

Die angesaugte Außenluft wird in das 6. Untergeschoß, in die Luftzentrale befördert und je nach Bedarf mit Umluft gemischt. Von dort über feuerverzinkte Stahlblechkanäle (Luftschächte) zu den Anlagen im 4. Untergeschoß geleitet. Für den Lufttransport ist ein Lüfter installiert, der die Widerstände in den Anlageelementen überwindet. Zur Temperaturregelung durchströmt die Luft Heiz- und Kühlelemente. Anschließend erfolgt die Befeuchtung in Wäscherkammern. Hier wird der Luftstrom durch Kammern geleitet, in denen das Wasser aus der Bodenwanne über Düsenstöcke versprüht wird. Es folgen Tropfenabscheider, die ein Mitreißen von Wassertropfen und verschlammten nachfolgender Anlagenteile verhindern sollen. Der Luftnacherhitzer stellt die erforderliche Zulufttemperatur (dem Raum zugeführte Luft) auf den gewünschten Wert ein.

Schalldämpfer sind zur Verminderung der Lärmbelastung installiert. Der Hauptfilter ist hinter dem Schalldämpfer platziert und beträgt die Filterklasse EU 8. Er weist einen Wirkungsgrad von 90% gegenüber atmosphärischem Staub auf (DIN 779 EN). Die Effizienz dieser Filterstufe ist unmittelbar von ihrem Sitz abhängig und in diesen Anlagen am Größten, wenn sie sich direkt vor dem Zuluftkanal und ohne weitere Nachschaltung von Heiz- oder Befeuchterelementen befindet. In den beprobten Anlagen wurden die Luftfilter als Taschenfilter aus Synthesefasern verwendet.

Die Wartung bzw. Erneuerung der Filter wurde unregelmäßig, je nach Verschmutzungsgrad durchgeführt. Über Lüftungskanäle aus feuerverzinktem Stahlblech wird die Zuluft in die oberen 5 Stockwerke geleitet. Innerhalb der Räume wird die Luft in Wickelfalzrohren durch die Zwischendecken geführt und durch Tellerventile aus Kunststoff verteilt. Die dort befindlichen Meßfühler geben Auskunft über Temperatur und Luftfeuchte und stehen mit der Schaltzentrale in Verbindung.

Der Ausblaskanal befindet sich ebenerdig auf der Westseite des Gebäudekomplexes. Eine Wärmerückgewinnung wurde in den untersuchten Anlagen nicht durchgeführt. Die Luftleistung der Anlagen beträgt im Durchschnitt 172 000 m<sup>3</sup>/h für die Zuluft und 138 000 m<sup>3</sup>/h für Abluftmenge.

### **3.3 Beschreibung des wasserführenden Systems**

Die Wäscherkammern werden mit einem durch Ionenaustauscher teilentionisiertem Wasser der Wasserhärte 4°dH. befüllt. Die Füllmenge der Wäscherkammer beträgt für die untersuchten Anlagen im Durchschnitt 1600 Liter. Die Anlage wird über Kupfer- und PVC- Rohrleitungen gespeist, welches zum Teil mit Verbindungsschläuchen aus Silikon- und Gummimaterial versehen ist. Aus der Bodenwanne der Wäscherkammer wird das Wasser durch Pumpen in die Düsenstöcke gepresst und dadurch vernebelt. Das übrige Wasser fällt zurück in die Bodenwanne und befindet sich somit im ständigen Kreislauf. Der von der Luft aufgenommene Teil des Wassers wird durch Zulauf von Frischwasser ersetzt. Zusätzlich werden Verunreinigungen, welche sich als

Bodensatz in der Wäscherkammer sammeln, durch den Abschlämmvorgang beseitigt. Durch Sonden in der Wäscherkammer wird der Wasserstand kontrolliert. Dabei werden pro Tag maximal 50% der Wassermenge (je nach Jahreszeit) wieder als Abschlammwasser aus einem Wasserhahn an der tiefsten Stelle der Wäscherkammer abgelassen. Bei dem Abschlammvorgang werden je nach Anlage ca. 800 Liter / Tag verbraucht. Die Frequenz des Vorganges ist von jahreszeitlichen Faktoren bzw. von der rel. Luftfeuchte der Außenluft abhängig.

Die Wartung bzw. Reinigung der Anlagen erfolgte zu Beginn dieser Untersuchung 4 wöchentlich. Der Reinigungs-/Desinfektionsvorgang erfolgte nach standardisiertem Verfahren.

1. Entleerung der Wäscherkammern und mechanische Vorreinigung der Düsenstöcke und Wannenzwände mit Bürsten und Hochdruckreiniger. Anschließende Spülung der Kammern mit Frischwasser und Ablassen des Spülwassers.
2. Danach Ausbringen einer 0,5% Lösung von Dismozon pur der Firma Bode (Magnesiumperoxyphthalat), welches als sauerstoffaktives Desinfektionsmittel wirkt. Dieses wird ebenfalls mittels eines Hochdruckreinigers auf die Innenflächen und Düsenstöcke versprüht. Nach einer Einwirkzeit von 1 Std. werden die Wäscherkammer und Düsenstöcke mit Frischwasser abgespült. Nach Ablassen der Spülflüssigkeit erfolgt die Befüllung der Wäscherkammer mit Frischwasser.

Das Reinigungsintervall wurde während des Untersuchungszeitraumes dieser Arbeit zu Forschungszwecken kurzfristig von einer 4 wöchentlichen Reinigung auf eine 2 wöchentliche Reinigung verkürzt. Desweiteren wurde eine zusätzliche Desinfektion mit einer 2.5% Baccalinlösung (Fa. Bode), auf der Basis quarternärer Ammoniumverbindungen, im Anschluß an die Routinedesinfektion durchgeführt. Die gesamte Wäscherkammer wurde mit der Lösung befüllt und 1 Std. gespült. Danach wurde die Lösung abgelassen und die Wäscherkammer mit Frischwasser befüllt.

### **3.4 Gewinnung des Untersuchungsmaterials und Probenverarbeitung**

Die Probenentnahme erfolgte in dem Zeitraum von Feb. 2001 – Nov. 2001. Dabei wurden 7 Vollklimaanlagen mit den Anlagennummern 5,6,7,8,9,10,24 untersucht. Es wurden insgesamt 227 Wasserproben entnommen und bearbeitet. Um den Anstieg des Bakterienwachstums innerhalb einer Reinigungs- und Desinfektionsperiode zu erfassen, wurden unterschiedliche Zeitintervalle für die Messungen gewählt. Die Untersuchung begann mit der Probennahme von Wasserproben sofort nach Reinigung und Desinfektion.

1. Probennahme des Frischwassers aus dem Zulaufhahn als Einspeisewasser.
2. Probennahme des frischen Wäscherkammerwassers aus der Mitte der Wäscherwanne nach Beendigung der Wäscherkammerfüllung als Füllwasser. Zusätzliche Entnahme einer Füllwasserprobe als stationäre Wasserprobe, die unter Laborbedingungen gehalten wurde und begleitend untersucht wurde .
3. Probennahme des Füllwassers aus der Mitte der Wäscherwanne im Betrieb als Betriebswasserprobe. Zusätzliche Entnahme einer Betriebswasserprobe nach zwei Wochen Betrieb zur weiteren Untersuchung unter Laborbedingungen als neue stationäre Wasserprobe.

Die Entnahme der stationären Laborwasserproben dient dem Zweck einen Vergleich mit den Betriebswässern herzustellen. Damit soll geklärt werden, ob die Umwälzung des Wäscherkammerwassers mit dem Luftstrom im Betrieb eine Auswirkung auf die Keimzahlentwicklung hat. Desweiteren soll geklärt werden, ob der Austausch durch Frischwasser in der Wäscherkammer im Betrieb Einfluß auf den Keimzahlverlauf hat.

Die zusätzliche Entnahme einer Betriebswasserprobe nach zwei Wochen Betrieb und fortlaufende Untersuchung im Labor als neue stationäre Probe, dient der Beantwortung der Frage, ob sich eine Veränderung der Keimzahl unter Laborbedingungen auch noch nach zwei Wochen einstellt.

Desweiteren wurden in zwei Anlagen (5 und 6) Keimzahl-Tagesprofile angefertigt. Dabei wurden mehrere Messungen der Keimzahl pro Tag durchgeführt. Das erste Tagesprofil wurde sofort nach Desinfektion durchgeführt, das zweite nach einer Woche Betrieb. Diese Tagesprofile sollen zeigen, ob eine Änderung der Keimzahlkinetik nur durch das Desinfektions-/Reinigungsverfahren entsteht, oder ob unabhängig vom Desinfektionsverfahren innerhalb einer Woche Betrieb noch Keimzahländerungen messbar sind.

Die Wasserproben des Einspeisewassers wurden direkt aus dem Frischwasserzulauf in sterile 250 ml Schraubdeckelgläser gefüllt. Die Wasserproben des Füllwassers wurden sofort nach Abschluß der Wäscherkammerfüllung unter zur Hilfenahme eines sterilen Tauchstabes über eine Serviceklappe aus der Mitte der Wäscherkammer in sterile 250 ml Schraubdeckelgläser entnommen. Die Betriebswasserproben konnten nur während der vorgegebenen Abschaltzeiten in gleicher Weise aus der Wäscherkammerwanne entnommen werden. Die Wasserproben wurden am Entnahmetag ungekühlt sofort nach der Gewinnung zur Weiterverarbeitung ins 8 Km entfernte Institut transportiert, die Transportzeit betrug ca. 15 Minuten. Die Uhrzeiten der Probenentnahme wurden von den Schaltzeiten der jeweiligen Anlagen mitbestimmt. Die entnommenen stationären und neustationären Wasserproben wurden in sterile 1 L. Schraubdeckelgläser abgefüllt, im Labor unter Lichtschutz bei 13°C +/- 1°C gelagert und begleitend zu den jeweiligen aus den RLT-Anlagen entnommenen Betriebswasserproben unter gleichen Bedingungen bebrütet und ausgezählt.

### 3.5 Nährmedien zur Keimanzucht und Testsubstanzen

Die Nährböden wurden nach Vorschrift des Herstellers angesetzt. Dabei wurden mit einem Liter Nährflüssigkeit ca. 40 Petrischalen ausgegossen. Es wurden folgende Nährmedien zur Bakterienanzucht verwendet:

1. DEV-Nähragar Merck Nr. 1.11471
2. Sabouraud-Maltoseagar Oxoid Nr. CM 41 a
3. Endo-Agar Merck Nr. 1.04044
4. CFC-Agar Oxoid Nr. CM 559  
+ Suppl. Oxoid Nr. SR 103 E
5. BCYE-Agar Oxoid Nr. CM 655  
+ Suppl. Oxoid Nr. SR 110 C
6. MWY-Agar Oxoid Nr. CM 655  
+ Suppl. Oxoid Nr. SR 110 C  
+ Suppl. Oxoid Nr. SR 118 B
7. Blut-Agar Oxoid Nr. CM 271  
+ Oxoid Nr. FS 1055
8. DEV-Lactose-Peptone-Bouillon Merck Nr. 1.10690
9. Latex-Test, Legionella Test-Kit DR 800 Oxoid
10. Api-Test, Pseudomonaden Test-Kit 20 NE
11. Säurepuffer 0,2 mol/l, pH-Wert 2,2, zur Reduktion der unerwünschten Begleitflora beim Legionellennachweis: HCl 17,4 ml 35%  
KCl 14,9 g  
KOH 1 mol/l

### 3.6 Bestimmung der Keimzahl und Keimarten

Zur Bestimmung der Keimzahlen (Koloniebildende Einheiten (KBE)) wurde DEV-Agar verwendet. Die Wasserproben wurden zunächst in einer Standardverdünnungsreihe auf 1:10 und 1:100 mit Aqua dest. verdünnt. Bei sehr hohen Keimzahlen war es zum Teil nötig höhere Verdünnungsschritte von bis zu 1:10000 anzusetzen. Aus den angesetzten Verdünnungsstufen wurden jeweils 2 Doppelbestimmungen im Koch'schen Plattengußverfahren gem. TVO 1990 durchgeführt und je 100 µl der Wasserproben in Petrischalen mit DEV-Agar pipettiert und ausgespatelt. Die Bebrütung der Agarplatten erfolgte bei 22° +/- 2°C und 36° +/- 1°C im Brutschrank für 44 +/- 4 h. Danach wurden die koloniebildenden Einheiten ausgezählt und nach ISO CD 8199 berechnet. Das Ergebnis wurde als KBE/ml, bezogen auf 1 ml der eingesetzten Wasserprobe angegeben.

Zur Anzucht von Hefen und Pilzen wurde Sabouraud-Maltose-Agar verwendet. 100 µl der Wasserproben wurden unverdünnt auf die Agarplatten pipettiert und ausgespatelt. Die Auszählung erfolgte nach 3, 5 und 7 Tagen bei einer Temperatur von 30° +/- 1°C.

Die Bestimmung der Pseudomonaden erfolgte durch den unverdünnten Einsatz von 100 µl Wasserprobe auf CFC-Agarplatten. Die Auszählung der fluoreszierenden Kolonien wurde nach einer Bebrütung von 48 h bei 30° +/- 1°C unter UV-Licht vorgenommen. Nach der Isolierung von fraglichen Kolonien folgte die Bestätigung im API 20 NE Test.

Escherichia coli und coliforme Keime wurden mittels Endo-Agar quantitativ nachgewiesen. Nach dem Ausspateln von 0.5 ml Probe wurden die Platten für 44 +/- 4 h bei 36°C im Brutschrank bebrütet. Je nach Keimzahl wurden 10 bis 15 verdächtige Kolonien subkultiviert und nach Herstellung von Reinkulturen mit dem API-System differenziert.

Zusätzlich wurden die E.coli und coliformen Keime mittels MPN-Methode bestimmt. Hierzu wurde Lactose-Peptone-Boullion verwendet. Dazu wurden 3 Parallelröhrchen von mindestens 3 aufeinander folgenden Verdünnungsstufen

angelegt und bei 37 °C inkubiert, anschließend wurde nach TVO 1990 ausgewertet. Anhand der Anzahl der positiven Röhren je Verdünnungsstufe wird mit Hilfe der McCradyschen Tabelle die Anzahl an koloniebildenden Einheiten pro ml (KBE/ml) in der Originalprobe geschätzt.

Zum Nachweis von Legionellen wurden die Nährböden BCYE (Buffered Charcoal Yeast Extract nach Edelstein) und MWY (Medium Wadowsky und Yee modifiziert nach Edelstein) eingesetzt. Zur Probenverarbeitung wurde 1 ml Probe auf je eine BCYE und MWY - Agarplatte pipettiert und ausgespatelt. Bei aerober Bebrütung in feuchter Kammer bei 90% Luftfeuchtigkeit und 5% CO<sub>2</sub>-Atmosphäre wurde über 11 Tage bei 37°C bebrütet und nach 3, 5 und 7 Tagen abgelesen. Zusätzlich wurde der Legionellennachweis mit 100 ml der jeweiligen Wasserprobe mittels Membranfiltration durchgeführt. Dazu wurde ein steriler Polycarbonatfilter von 47 mm Durchmesser und 0.4 µm Porengröße, (Fa. Whatman, 111107) verwendet. Der Filter wurde in 0.5 ml Aqua dest. überführt. Die Mikroorganismen wurden durch eine 10 sec. Ultraschallbehandlung mit dem Vortex vom Filter gelöst. Durch zufügen von 0.5 ml 0.2 mol KCL / HCL – Puffer, pH 2.2 und aufgeschütteln des Filters, erfolgte eine Reduktion der Begleitflora. Die gesamte Menge von 1 ml wurde mit Hilfe eines Glasspatels auf den MWY–Agar aufgetragen. Die Bebrütung in feuchter Kammer erfolgte über 11 Tage bei 37°C. Bei täglicher Ablesung wurden verdächtige, kleine, graue Kolonien ab dem 3. Tag erneut auf MWY–Agar und Blut–Agar isoliert. Kolonien die zwar auf MWY–Agar, nicht aber auf Blut–Agar wuchsen, wurden mittels Gramfärbung weiter differenziert. Legionellen erscheinen als gramnegative, zarte, pleomorphe Stäbchen. Zur Bestätigung wurde ein Latex–Agglutinationstest (Oxoid, Wesel) gemäß Herstellerangaben durchgeführt.

## 4. Ergebnisse

Die Keimzahlen der untersuchten RLT-Anlagen wurden als arithmetische Mittelwerte aus den Doppelbestimmungen errechnet und den entsprechenden Meßzeitpunkten zugeordnet. Dabei wurde bewußt auf die Berechnung der Standardabweichung verzichtet, da die Anzahl der Werte nur begrenzt war und unter 6 Einzelwerten lag. In dieser Untersuchung kam es darauf an, deskriptiv die Kurvenverläufe zu vergleichen und deren Unterschiede zu diskutieren. Als relevant wurden Keimzahlunterschiede von mindestens einer Zehnerpotenz bewertet.

### 4.1 Die Gesamtkeimzahlen aller Anlagen im Überblick

Zu Beginn des Betriebes der Klimaanlage schwankten die Gesamtkeimzahlen in den jeweiligen Anlagen zwischen 10 und 100 KBE/ml. Die vorhergegangenen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren führten zu keinem wesentlichen Unterschied.

Nach 2 Stunden Laufzeit stiegen die Bakterienkonzentrationen in den Betriebswässern der mit Dismozon behandelten Anlagen auf Werte zwischen  $10^3$  und  $10^4$  KBE/ml an. Die der Betriebswässer in den mit Dismozon und Baccalin desinfizierten Anlagen erreichten Werte unterhalb der Nachweisgrenze bis maximal  $10^2$  KBE/ml.

Nach 12 Stunden Betrieb erhöhten sich die Keimzahlen der Betriebswässer der mit Dismozon behandelten Anlagen nur noch leicht auf  $10^4$  KBE/ml, die der mit Dismozon und Baccalin gereinigten Anlagen stiegen zwar schneller an, erreichten aber nur Werte von  $10^3$  KBE/ml. In einer mit Dismozon und Baccalin gereinigten Anlage blieben die Keimzahlen weiterhin unterhalb der Nachweisgrenze.

Nach 24 Stunden Betriebszeit blieben die Keimzahlen der Wasserproben der mit Dismozon desinfizierten Anlagen bei Werten um  $10^4$  KBE/ml stabil. Dagegen stiegen die KBE der mit Dismozon und Baccalin gereinigten Anlagen

auf fast  $10^4$  KBE/ml und erreichten nach 24 Stunden Betriebszeit ähnliche Keimzahlen wie in den Dismozon gereinigten Anlagen. In allen Anlagen bestanden zu diesem Zeitpunkt keine Unterschiede hinsichtlich der Keimzahlen, sie schwankten zwischen  $10^3$  und  $10^4$  KBE/ml. Die Keimkonzentrationen in den mit Dismozon gereinigten Anlagen blieben nach 3 Tagen Betrieb mit  $10^4$  KBE/ml nahezu unverändert, während nun die mit Dismozon und Baccalin gereinigten Anlagen weiter auf  $10^5$  KBE/ml anstiegen.

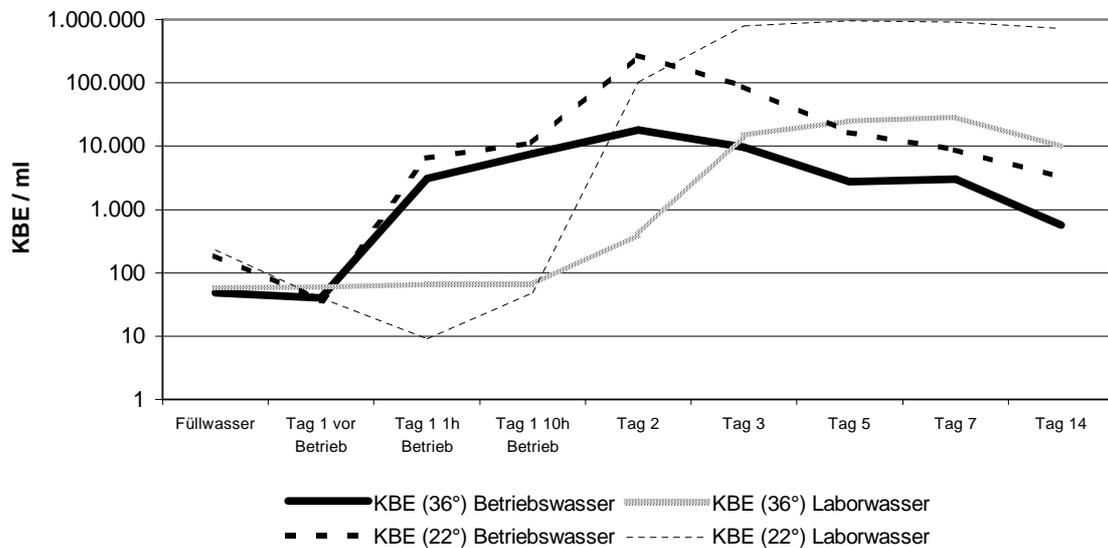
Nach einer Woche Betrieb fielen die Keimkonzentrationen der mit Dismozon gereinigten Anlagen auf  $10^3$  und  $10^4$  KBE/ml ab. Die Keimzahlen der mit Dismozon und Baccalin gereinigten Anlagen dagegen stiegen weiter stetig an und erreichten Keimzahlen von  $10^6$  KBE/ml.

Die Kurven der Gesamtkeimzahlen bei  $22^\circ\text{C}$  verliefen weitgehend parallel zu den Kurven bei  $36^\circ\text{C}$ . Die Keimzahlen bei  $22^\circ\text{C}$  lagen in aller Regel aber um eine Zehnerpotenz höher als die Keimzahlen bei  $36^\circ\text{C}$ .

#### 4.1.1 Keimwachstum von Betriebs- und Laborwässern nach dem Reinigungs- und Desinfektionsverfahren mit Dismozon

Die Betriebswasserproben zeigten eine schnellere Aufkeimung als die Wasserproben, die aus der Wäscherkammer entnommen und unter Laborbedingungen gehalten wurden (Abb. 1). Dabei lag nach stetigem Anstieg das Maximum der Keimzahl im Betriebswasser am 2. Tag bei  $10^5$  KBE/ml bei  $22^\circ\text{C}$  und  $10^4$  KBE/ml bei  $36^\circ\text{C}$ . Im weiteren Verlauf sanken beide Kurven stetig ab. Eine vergleichbare Keimkinetik zeigte sich für beide Laborwässer, jedoch kam es hier insgesamt zu einem verzögerten Keimanstieg. Nach einer Latenzphase von 1 Tag und 10 h begann das Keimwachstum. Das Maximum des Keimgehaltes wurde am 3. Tag in den Laborwässern bei  $22^\circ\text{C}$  erreicht. Es lag fast zwei Zehnerpotenzen höher als die Keimzahlen der Labor- und Betriebswässer bei  $36^\circ\text{C}$  und blieb auf diesem Niveau mit  $10^6$  KBE/ ml stabil.

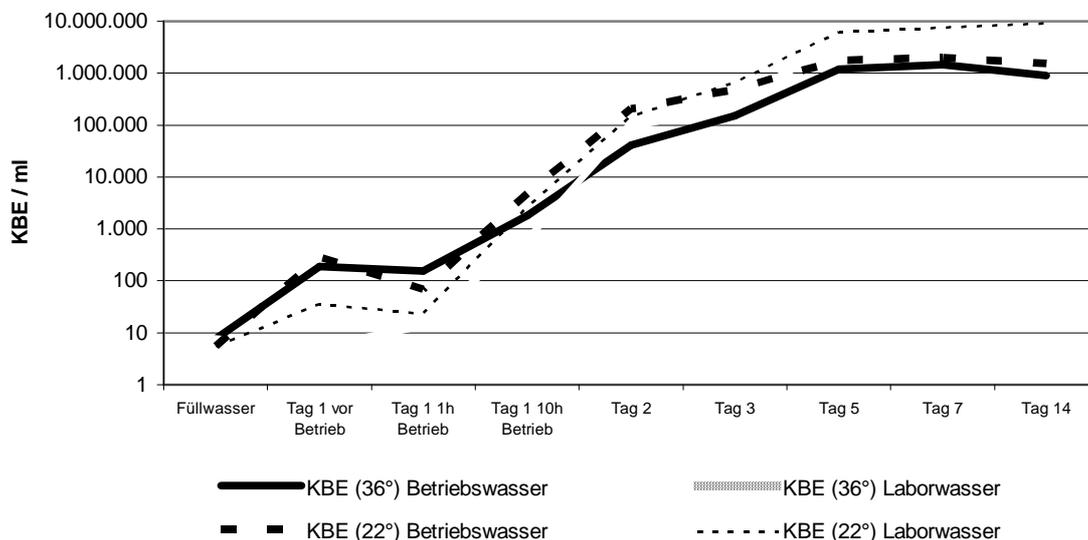
Abb. 1: Vergleich der KBE in Betriebs- und Laborwässern nach Desinfektion mit Dismozon



#### 4.1.2 Keimwachstum von Betriebs- und Laborwässern nach dem Reinigungs- und Desinfektionsverfahren mit Baccalin und Dismozon

Die Keimzahlen aller Wäscherkammerwässer stiegen gleichmäßig bis zum 5. Tag auf ca.  $10^6$  KBE/ml an (Abb. 2). Zwischen dem Keimgehalt der Betriebs- und Laborwässer bestand nach dem Reinigungs-/Desinfektionsverfahren mit Baccalin und Dismozon kein Unterschied. Festzustellen war nur, dass der Anstieg der Gesamtkeimzahlen in den Laborprobenwässern bei  $36^\circ\text{C}$  geringfügig verzögert begann.

Abb. 2: Vergleich der KBE in Betriebs- und Laborwässern nach Desinfektion mit Dismozon und Baccalin



#### 4.1.3 Vergleich der Wachstumsraten in Betriebs- und Laborwässern nach unterschiedlichen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren

Im Gegensatz zu den Wasserproben der mit Dismozon behandelten Anlagen wurden sowohl in den Betriebs- als auch in den Laborwässern der mit Dismozon und Baccalin gereinigten Anlagen, die höchsten Keimzahlen ( $10^6$  KBE/ml) gemessen (Abb. 3).

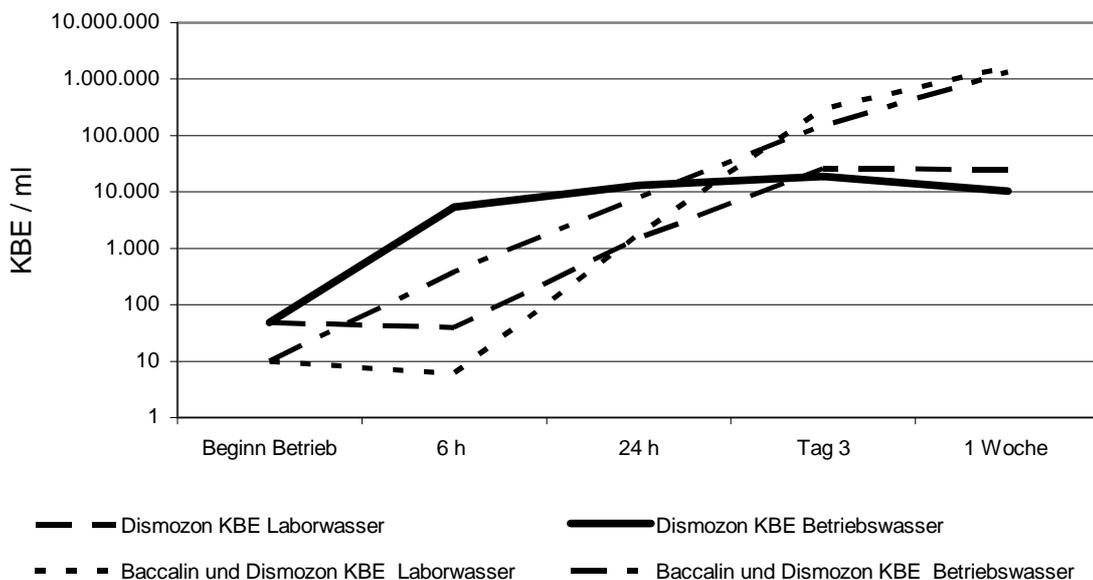
In den mit Dismozon gereinigten Anlagen stiegen die Gesamtkeimzahlen im Betriebswasser in den ersten Stunden stark an. Dagegen wurde in den

Laborwässern erst nach einer Latenzzeit von 6 h ein Anstieg der Keimzahl beobachtet. Nach ca. 24 h war der Keimgehalt unabhängig vom Reinigungsverfahren vergleichbar.

Ein Unterschied der Keimkinetik in den Wasserproben der unterschiedlich desinfizierten Anlagen trat nach 3 Tagen auf. In den mit Dismozon und Baccalin gereinigten Anlagen stiegen die GKZ auf Werte um  $10^6$  KBE/ml, während bei den mit Dismozon desinfizierten Anlagen die Werte bei  $10^4$  KBE/ml stabil blieben.

Die Kurvenverläufe der GKZ bei 22° C entsprachen den Kurvenverläufen bei 36°C. Die Keimzahlen lagen bei 22° C allerdings noch um eine Zehnerpotenz höher als bei 36° C.

Abb. 3: Vergleich der KBE bei 36°C in Betriebs- und Laborwässern bei unterschiedlichen Desinfektionsverfahren



#### **4.1.4 Vergleich der Wachstumsraten bei 22° und 36°C in Betriebswässern nach 2- und 4-wöchigem Reinigungszyklus mit unterschiedlichen Reinigungsverfahren**

Bei fast gleichen Gesamtkeimzahlen der Einspeisewässer zwischen  $10^2$ - $10^3$  KBE/ml sanken zu Betriebsbeginn die Keimgehalte in allen Anlagen bis zur Nachweisgrenze ab (Abb.4). Dann stiegen allerdings die Keimzahlen an. Der Keimaufwuchs in den mit Dismozon gereinigten Anlagen war steiler als in den kombiniert desinfizierten Anlagen.

Am 2. Tag war das Maximum der Keimkonzentration von  $10^4$  KBE/ml in den Wässern der mit Dismozon gereinigten Anlagen erreicht. Es bestand dabei kein wesentlicher Unterschied der Keimzahlen zwischen einem 2 und 4 wöchigen Reinigungszyklus.

In den kombiniert gereinigten Anlagen war eine verzögerte aber stetig ansteigende Verkeimung nachweisbar. Das Maximum wurde am 9. Tag nach Betriebsbeginn erreicht und lag bei Werten  $> 10^6$  KBE/ml in der 2 wöchigen Reinigung und bei  $> 10^5$  KBE/ml in der 4 wöchigen Reinigung.

Während die Anlagen des 2 wöchigen Reinigungszyklus bis zum Ende der Untersuchung das hohe Keimniveau hielten, sanken die Keimkonzentrationen der Anlagen im 4 wöchigen Reinigungszyklus am Ende der Untersuchung auf Werte unter  $10^5$  KBE/ml.

Eine Ausnahme machte die mit Dismozon aufbereitete Anlage im 2 wöchigen Reinigungszyklus am 9.Tag. Von 600 KBE/ml am 7. Tag fiel die Keimzahl auf 10 KBE/ml am 9. Tag ab, um dann wieder auf über  $10^2$  KBE/ml am 11. Tag anzusteigen. Im Gegensatz hierzu blieb das Keimzahlniveau im 4 wöchigen Reinigungszyklus mit Dismozon weitestgehend bei  $10^3$  KBE/ml stabil.

Im Gegensatz zu den Gesamtkeimzahlen aller Anlagen bei 36°C, fiel die Gesamtkeimzahl bei 22°C zu Betriebsbeginn nur in den Dismozon desinfizierten Anlagen ab. Die weiteren Kurvenverläufe der Verkeimung entsprachen den Verläufen der Keimkonzentrationen bei 36°C (Abb.5).

Abb. 4: Vergleich der KBE bei 36° C in Betriebswässern bei 2 und 4 wöchigen Reinigungszyklen in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren

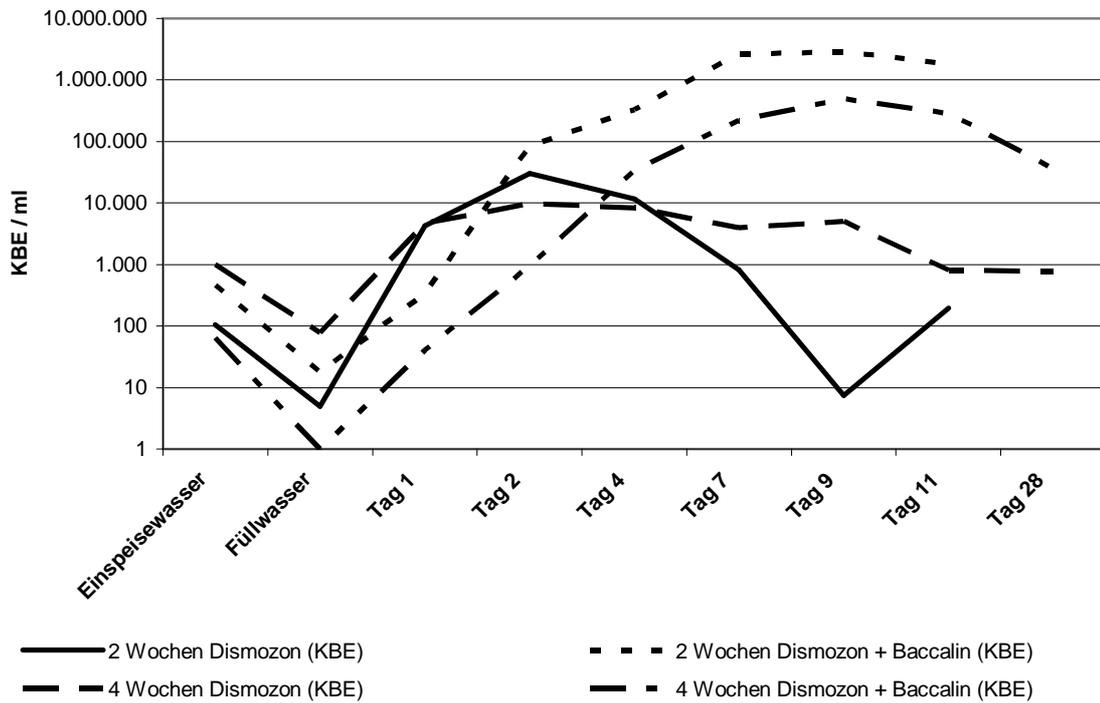
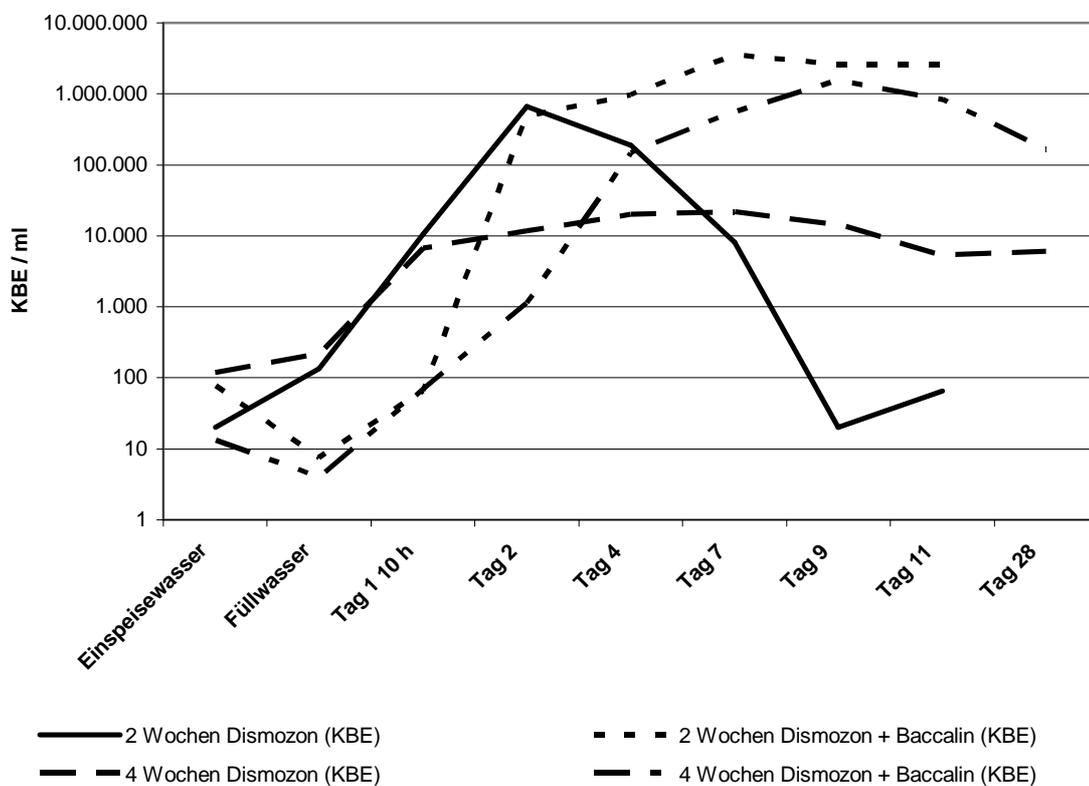


Abb. 5: Vergleich der KBE bei 22° C in Betriebswässern bei 2 und 4 wöchigen Reinigungszyklen in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren



#### 4.1.5 Tagesprofile der Gesamtkeimzahlen bei 36 °C am 1. und 7. Tag nach Betriebsbeginn

Bei einem Vergleich der Gesamtkeimzahlen der Wäscherkammerwässer im Tagesverlauf nach Betriebsbeginn am 1. Tag mit dem Verhalten der Gesamtkeimzahlen am 7. Tag ergaben sich deutliche Unterschiede (Abb.6+7). Am ersten Tag war ausgehend von einer geringen Keimzahl von ca.  $10^2$  KBE/ml ein massiver Anstieg der Gesamtkeimzahl auf über  $10^3$  KBE/ml zu verzeichnen. Im Gegensatz hierzu, blieb die Gesamtkeimzahl am 7. Tag über den 11 stündigen Untersuchungszeitraum konstant und lag bei ca.  $10^3$  KBE/ml.

Abb.6: KBE bei 36°C im Betriebswasser der Anlage 5 im Tagesprofil am 1.Tag und 7. Tag nach Desinfektion

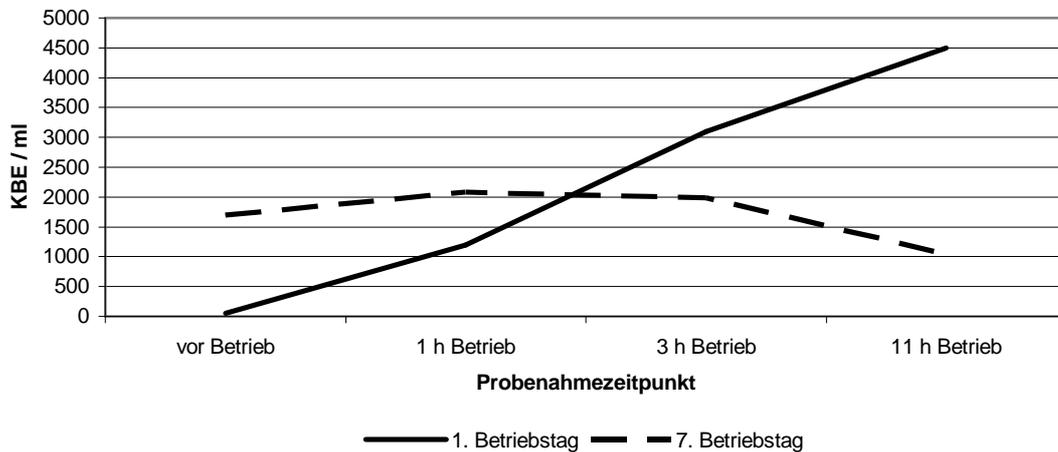
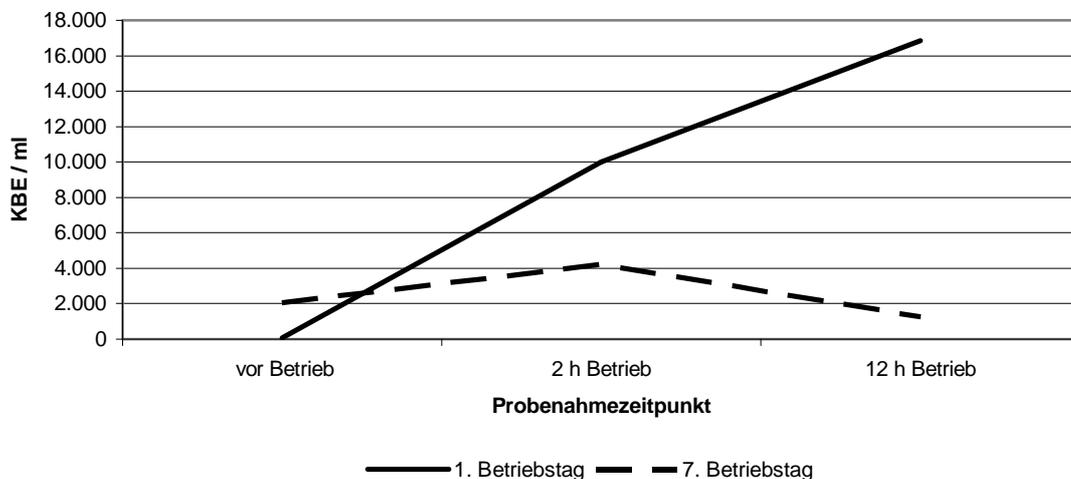


Abb.7: KBE bei 36°C im Betriebswasser der Anlage 6 im Tagesprofil am 1.Tag und 7. Tag nach Desinfektion



#### 4.1.6 Vergleich der Gesamtkeimzahlen von 2 Anlagen bei 36°C im Betrieb, mit neuen stationären Laborwässern nach Desinfektion mit Dismozon und Baccalin

Die Tabelle 1 zeigte zum Zeitpunkt der Probenentnahme nach 14 Tagen Betrieb eine Gesamtkeimzahl in den Wäscherkammerwässern zwischen  $10^5$  und  $10^6$  KBE/ml in Anlage 7 und 9. In diesen sanken dann die Gesamtkeimzahlen um 1 Zehnerpotenz bis zum Ende der Untersuchung ab.

Die Gesamtkeimzahlen der Wasserproben, die am 14. Tag nach Betriebsbeginn erneut aus 2 Anlagen gezogen worden waren und anschließend 265 h unter Laborbedingungen gehalten wurden, verhielten sich wie die Gesamtkeimzahlen in den Betriebswässern.

Eine Ausnahme bildete die Wasserprobe der Anlage 9. Hier fiel am Ende der Untersuchung die Gesamtkeimzahl um 1 Zehnerpotenz ab.

Tab. 1: Vergleich der KBE bei 36° der Betriebs- und neustationären-Laborwässer der Anlagen 7 und 9

<b>Zeit in Stunden</b>	<b>0 h</b>	<b>24 h</b>	<b>48 h</b>	<b>126 h</b>	<b>169 h</b>	<b>217 h</b>	<b>265 h</b>
<b>Anlage 7, Betriebswasser</b>	$7,2 \cdot 10^5$				$10^5$		$3,9 \cdot 10^4$
<b>Anlage 7, Neustationär</b>	$7,2 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$	$6,1 \cdot 10^4$
<b>Anlage 9, Betriebswasser</b>	$1,2 \cdot 10^5$				$4,6 \cdot 10^4$		$2,2 \cdot 10^4$
<b>Anlage 9, Neustationär</b>	$1,2 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$10^4$	$10^4$	$5,3 \cdot 10^3$

## **4.2 Verkeimung der RLT-Anlagen mit Pseudomonaden**

### **4.2.1 Verlauf des Aufwuchses der Pseudomonaden in Betriebswässern nach unterschiedlichen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren**

Zu Beginn waren in den Wäscherkammern nach der kombinierten Desinfektion Pseudomonadenkonzentrationen von bis zu  $10^1$  KBE/ml vorhanden. Nach Betriebsbeginn stieg dann der Pseudomonadengehalt auf Werte zwischen  $10^5$ - $10^6$  KBE/ml an. Das Maximum wurde am 5.Tag erreicht (Abb. 8).

Wurden die Anlagen nur mit Dismozon behandelt, kam es zu einem wesentlich geringeren Anstieg der Pseudomonadenzahlen im Wäscherkammerwasser. Nach diesem Desinfektionsverfahren war das Maximum am 3. Tag mit knapp  $10^4$  KBE/ml erreicht. An Ende der Untersuchung lag der Pseudomonadengehalt um 5 Zehnerpotenzen niedriger als der Gehalt nach kombinierter Desinfektion (Abb.8).

Im Untersuchungsverlauf fiel der Anteil der Pseudomonaden an der Gesamtkeimzahl bei den mit Dismozon desinfizierten Anlagen deutlich geringer aus als bei den Anlagen im kombinierten Desinfektionsverfahren (Abb. 9 + 10). Während der Pseudomonadenanteil nach der Reinigung mit Dismozon lediglich 10% an der Gesamtkeimzahl betrug, stieg dieser nach der Reinigung mit Dismozon und Baccalin auf Werte um 90 %.

Abb. 8: Pseudomonadengehalt der Betriebswässer bei unterschiedlichen Desinfektionsverfahren

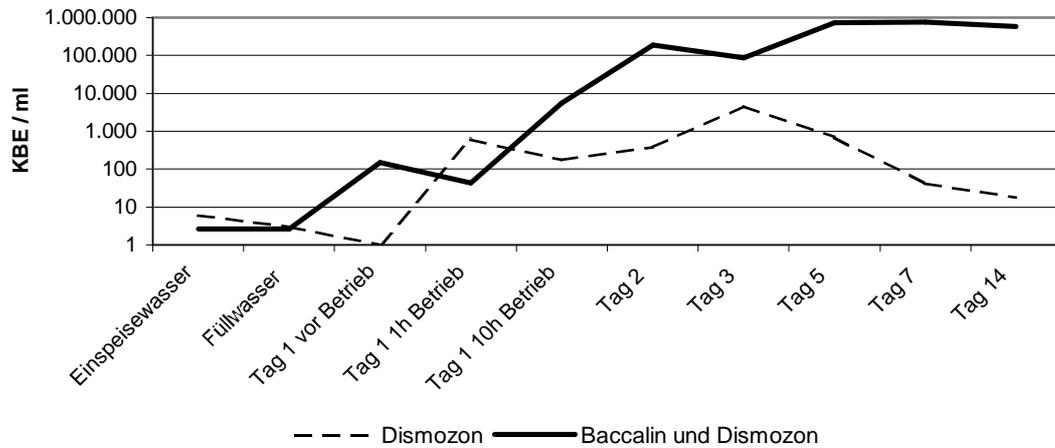


Abb. 9: Pseudomonadengehalt und KBE bei 36 und 22 ° C in Betriebswässern nach Desinfektion mit Dismozon

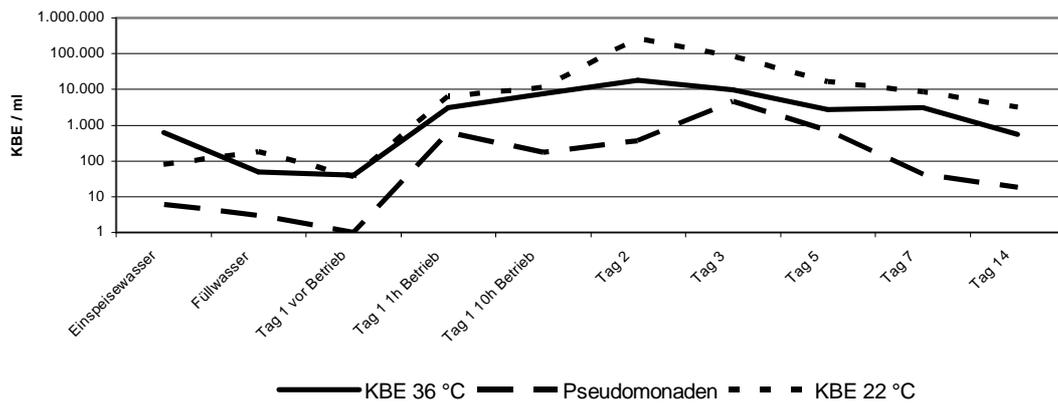
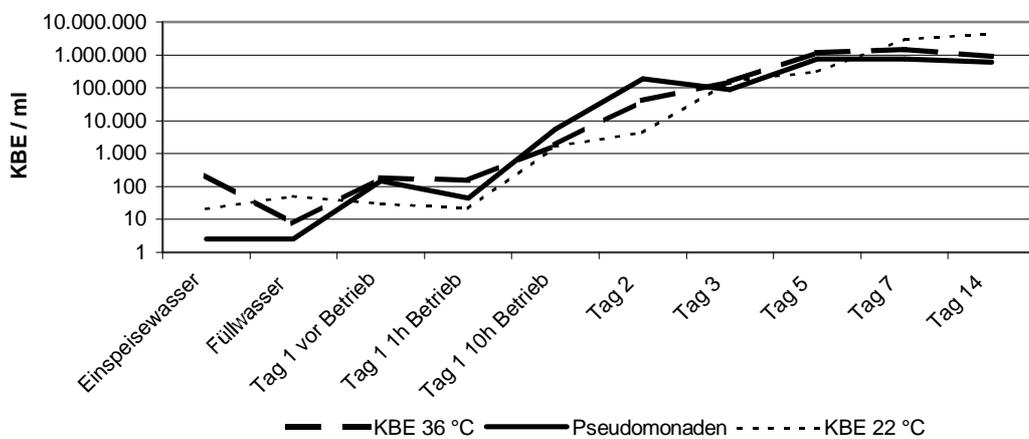


Abb. 10: Pseudomonadengehalt- und KBE bei 36 und 22 ° C in Betriebswässern bei Desinfektion mit Dismozon und Baccalin



#### 4.2.2 Verlauf des Aufwuchses der Pseudomonaden in Laborwässern nach unterschiedlichen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren

Die zu Betriebsbeginn entnommenen Probenwässer, welche unter Laborbedingungen gehalten wurden, wiesen einen Pseudomonadengehalt an der Nachweisgrenze auf (Abb.11). Bereits 2 Tage nach Untersuchungsbeginn lagen die Keimzahlen der Pseudomonaden bei  $10^5$  KBE/ml und stiegen in der ersten Woche auf  $10^6$ - $10^7$  KBE/ml an. Ein Einfluß des Desinfektionsverfahrens auf das Pseudomonadenwachstum bestand nicht. Im weiteren Verlauf ließ sich in den Laborwässern kein Abfall der Pseudomonadenkeimzahl feststellen.

In den neuen stationären Laborwässern, die als Wasserproben am 14. Tag erneut aus 2 Anlagen entnommen und unter Laborbedingungen gehalten wurden, konnte kein Wachstum der Pseudomonaden beobachtet werden (Abb.12+13).

Der Keimgehalt der Pseudomonaden verlief parallel zur Gesamtkeimzahl dieser Laborproben und macht davon ca. 10% aus.

Abb. 11: Pseudomonadengehalt der Laborwässer bei unterschiedlichen Desinfektionsverfahren

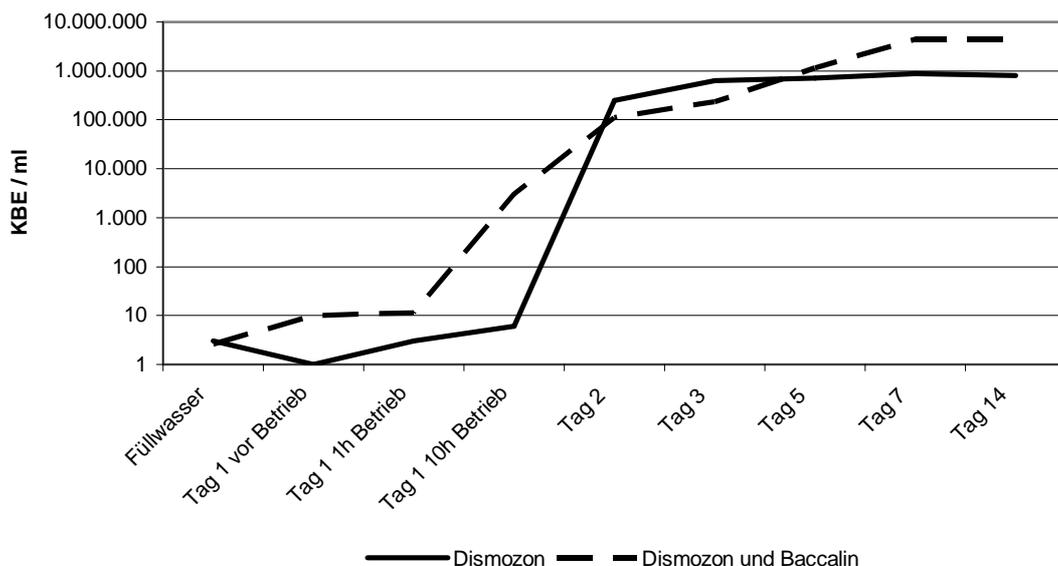


Abb.12: KBE bei 22° und 36°C und Pseudomonadengehalt des neustationären Laborwassers der Anlage 7 entnommen nach 14 Tagen Betrieb

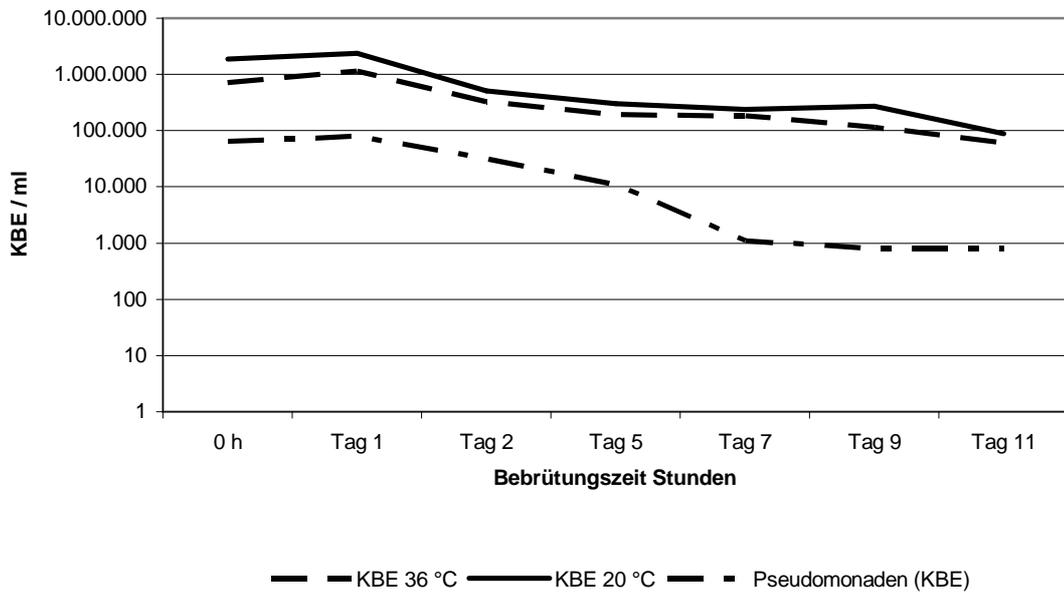
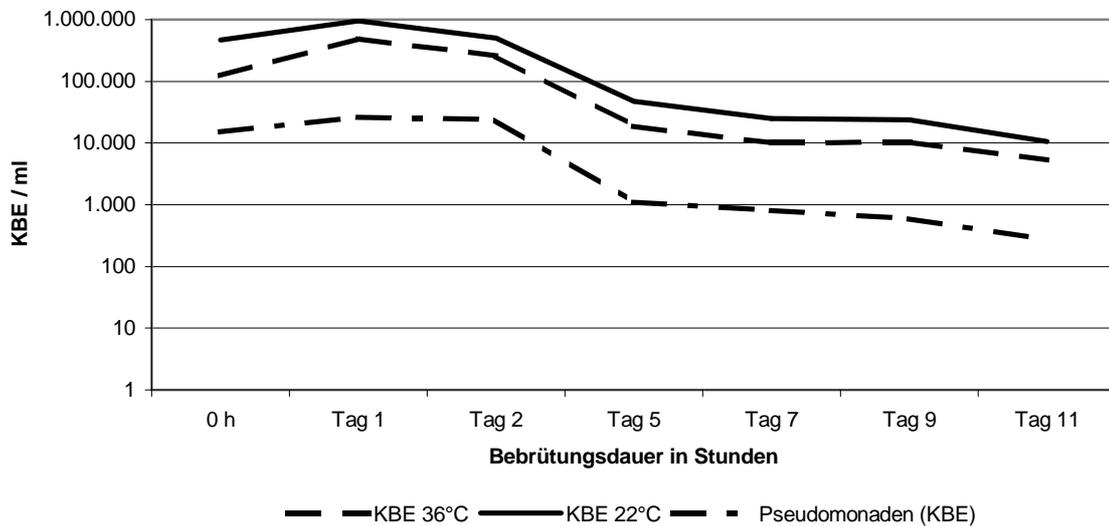


Abb.13: KBE bei 22° und 36°C und Pseudomonadengehalt des neustationären Laborwassers der Anlage 9 entnommen nach 14 Tagen Betrieb



### **4.3 Aufwuchs der Betriebswässer mit Pilzen, coliforme Keime und Legionellen**

#### **4.3.1 Nachweis von Pilzen**

In allen Anlagen ließen sich insgesamt nur sehr wenig Pilze nachweisen, häufig lagen die Werte unterhalb oder nur knapp über der Nachweisgrenze.

In der Anlage 8 konnte am Ende des 4-wöchigen Reinigungs- und Desinfektionsverfahrens mit Dismozon ein Wert von 30 KBE/ml im Betriebswasser und 20 KBE/ml in der Laborprobe ermittelt werden.

In Anlage 9 wurde mit dem 4-wöchigen kombinierten Reinigungs- und Desinfektionsverfahren zu Betriebsbeginn der Maximalwert von 80 KBE/ml im Betriebswasser gemessen. Am Ende des Beobachtungszeitraumes lagen die Werte unterhalb der Nachweisgrenze.

#### **4.3.2 Nachweis von E. coli und coliforme Keime**

Der Keimnachweis erfolgte zunächst mit 1 ml Probenwasser bebrütet auf Endoagarplatten. Hiermit wurden keine coliformen Keime nachgewiesen. Gegen Ende der Untersuchung wurden auch 100 ml Probenwasser mit Lactose-Peptide Bouillon bebrütet.

Hier wurden in Anlage 5, 6, 9 und 10 coliforme Bakterien erfasst. Die Werte fielen mit max. 93 KBE/ml in Anlage 10 sehr gering aus. In den übrigen Anlagen lagen sie unterhalb der Nachweisgrenze.

### **4.3.3 Nachweis von Legionellen**

Legionellen wurden trotz der großen Anzahl von Klimaanlage nur in 2 RLT-Anlagen in sehr geringer Konzentration gefunden.

In Anlage 5 mit 2 wöchiger Dismozondesinfektion waren am 7. Tag einmalig Legionellen spez. in einer Konzentration von 6 KBE/ml vorhanden.

In Anlage 6 mit selbiger Desinfektion wurden mehrfach Legionellen spez. bis zu 6 KBE/ml nachgewiesen. Am Ende der Untersuchung waren keine Legionellen mehr nachweisbar.

## 5. Diskussion

Anlaß dieser Untersuchung war die Erfassung des Wachstums und des Verhaltens von Bakterien in RLT-Anlagen über einen längeren Zeitraum. Dabei sollte der Einfluß verschiedener Aufbereitungsarten mit Desinfektionsmitteln auf das Wachstum von Keimen in Wäscherkammerwässern erfasst werden. Weiter sollte nachgewiesen werden, welche Bedeutung verschiedene Reinigungszyklen und der Abschlämmvorgang auf die Keimzahlen in den Wäscherkammern haben. Die Ergebnisse sollten Grundlagen für Vorschläge zur Optimierung von Reinigungs- und Desinfektionsverfahren liefern. Hierzu wurden innerhalb des Beobachtungszeitraumes eine Vielzahl an Meßwerten erhoben, um ein grundlegendes Wissen zum Keimwachstum und zur Verkeimungskinetik in RLT-Anlagen zu erlangen. Bisher wurden lediglich Einzelbefunde zu beliebigen Zeitpunkten erhoben. Es lagen keine Untersuchungen über die Verkeimungskinetik von Bakterien in RLT-Anlagen vor.

Für diese Untersuchung wurden, nicht nur Proben vom Einspeisewasser, sondern auch laufend Proben vor Inbetriebnahme und während des Betriebes entnommen. Von Bedeutung waren die engmaschig geführten Probenentnahmen aus den Wäscherkammern während des Betriebes, um die Wachstumskinetik von Bakterien im Wäscherkammerwasser abhängig von der Betriebsdauer zu bestimmen.

Um zunächst den Einfluß von Desinfektionsmaßnahmen auf den Aufwuchs von Bakterien zu erfassen, wurden in vorgelegter Arbeit die Wäscherkammerwässer von 7 RLT-Anlagen mit einem 2- oder 4-wöchigen Reinigungszyklus untersucht. Dabei wurde nach genereller mechanischer Reinigung entweder eine einfache Desinfektion mit einem sauerstoffabspaltenden Präparat (Dismozon) und eine kombinierte Desinfektion mit einem quathaltigen Desinfektionsmittel (Baccalin) durchgeführt. Zur Bestimmung des Keimwachstums in allen Anlagen, wurden die Gesamtkeimzahlen aller Betriebswässer nach den unterschiedlichen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren erfasst und deren Mittelwerte gebildet.

### **Die Gesamtkeimzahlen aller Anlagen während des Betriebes:**

Zu Beginn des Betriebes lagen annähernd gleiche Ausgangskeimzahlen in den Wäscherkammerwässern vor. Die Füllwässer wiesen Keimzahlen zwischen 10 und 100 KBE/ml auf. Bereits 2 Stunden nach Betriebsbeginn stiegen sie dann auf  $10^4$  KBE/ml an. Abhängig vom Desinfektionsverfahren kam es zu einem steilen Anstieg der Keimzahlen in den Dismozon gereinigten Anlagen, während sich nur ein verzögerter Anstieg der Keimzahlen in den kombiniert desinfizierten Anlagen fand. Nach 24 Stunden Betrieb erreichten die Gesamtkeimzahlen der Betriebswässer nach beiden Reinigungs- und Desinfektionsverfahren ähnliche Werte in Höhe von  $10^4$  KBE/ml. Nach einer Woche Betrieb waren die Keimzahlen in den kombiniert gereinigten Anlagen weiter bis auf Werte von  $10^6$  KBE/ml angestiegen, während sich in den mit Dismozon gereinigten Anlagen Keimzahlen zwischen  $10^3$ - $10^4$  KBE/ml einstellten.

Dass RLT-Anlagen mit erhöhten Keimzahlen mögliche gesundheitliche Schäden nachsichziehen, wurde vielfach in der Literatur beschrieben (Müller 1972, Rieth 1973, Elixmann 1988, Werner und Pietsch 1990, Mühlenberg 1993). Die durchgeführte Untersuchung zeigte sehr hohe Keimzahlen von bis zu  $10^6$  KBE/ml in dem Wäscherkammerwasser. Damit wurde ein mögliches erhöhtes Infektionsrisiko deutlich.

Eine Erklärung für die stark erhöhten Keimzahlen bietet die Untersuchung von Botzenhart und Kufferath (1976), sie wiesen in quantitativen Versuchen nach, dass sich Bakterien in nährstoffarmen Milieu wie Leitungswasser, destilliertem Wasser und entionisiertem Wasser halten und darüberhinaus vermehren können. Sie führten Versuche über 48 Tage mit 12 gram-negativen Bakterienstämmen in 4 verschiedenen Wasserqualitäten als Nährmedium durch. Ein Ergebnis war, dass nicht nur Pseudomonaden sondern auch andere fakultativ pathogene Erreger sehr geringe Nährstoffansprüche in wässrigen Medien hatten. Die Vermehrungsraten von z.B. Pseudomonaden erreichten nach 48 Tagen eine Keimzahl von  $10^6$  KBE/ml in sterilem Leitungswasser, Mineralsalzlösung und entionisiertem Wasser.

Auch Schoenen (1986) fand eine Verkeimung von Trinkwasser im Laborversuch über 6 Wochen. So stieg nach einer Latenzzeit von bis zu 10 Tagen die Koloniezahl steil an. Das Maximum wurde nach ca. 15 Tagen mit 2000 KBE/ml erreicht. Somit ließ sich eine bakterielle Vermehrung im Trinkwasser ohne zusätzlichen bakteriellen Eintrag von Außen nachweisen.

Ähnliche Ergebnisse erzielte Pfeiffer (1972) zum Keimverhalten in Leitungswasser. Es stiegen in Wasserproben, beimpft mit Zusätzen von Testkeimen, wie E.coli und C.albicans über einen Zeitraum von 4 Tagen die Keimzahlen an. Nach einer Latenzzeit von 24 Std. lag die KBE bei  $10^3$  /ml, nach 4 Tagen um  $10^6$  KBE/ml.

Auch Dott (1983) kam in seiner Untersuchung zur Verkeimung in Trinkwasser zu dem Ergebnis, dass sich Bakterien ausgehend von 1 KBE/ml stetig vermehren und bereits nach 4 Tagen eine Koloniezahl von  $10^4$  KBE/ml bilden. Das Maximum wurde nach 30 Tagen bei  $10^5$  KBE/ml gemessen.

Aus den vorliegenden Studien von Botzenhart, Dott und Pfeiffer ging hervor, dass bereits nach einer Latenzzeit von 24 - 48 h die Keimzahl im Trinkwasser deutlich anstieg. Diese Untersuchungen der Keimzahlen bezogen sich jedoch ausschließlich auf ruhendes Stagnationswasser.

Zur Klärung, ob sich Änderungen bezüglich eines Wachstums der Bakterien in den in Umwälzung befindlichen Betriebswässern im Vergleich zu den ruhenden Laborwässern ergaben, wurden parallele Keimzahlbestimmungen in Wasserproben, die aus den Wäscherkammerwässern entnommen und unter Laborbedingungen gehalten wurden und den Betriebswässern durchgeführt. So ergaben sich aus diesen Untersuchungen zwischen den Betriebs- und Laborwässern bezüglich der Gesamtkeimzahl in den kombiniert desinfizierten Anlagen über den gesamten Meßzeitraum keine wesentlichen Unterschiede. Allerdings wurde in den mit Dismozon gereinigten Anlagen zum Untersuchungsende eine um 2 Zehnerpotenzen höhere Keimzahl bei 22°C in den ruhenden Laborwässern erreicht.

Auch Dott (1983) führte Untersuchungen zur Verkeimung in ruhenden Laborwässern oder bewegten Wässern durch. Er schüttelte einen Teil der Wasserproben stetig bei 180 Umdrehungen/min auf einem Inkubator und verglich diesen mit ruhenden Wasserproben. In den bewegten Versuchsansätzen stieg die Gesamtkeimzahl zunächst steil bis auf  $10^4$  KBE/ml an, um dann vom 4. Tag an kontinuierlich abzunehmen. Die unbewegten Proben zeigten bis zum 4. Tag vergleichbare Wachstumskurven, stiegen aber bis zum 30. Tag weiter bis auf Werte von  $10^5$  KBE/ml an. Aus diesen Ergebnissen leitete Dott ab, dass Bewegung und Umwälzen eher einen reduzierenden Effekt auf den Keimgehalt des Wassers hatte.

Unsere Untersuchung brachte diesbezüglich unterschiedliche Ergebnisse. Einerseits bestätigen die Resultate der Wasserproben aus den mit Dismozon desinfizierten Anlagen bei 22°C die Befunde von Dott. Während die Gesamtkeimzahlen der unbewegten Laborwässer bis zum Versuchsende nicht abfielen, nahmen die der bewegten Betriebswässer deutlich ab.

Im Gegensatz hierzu stehen die Befunde aus den Wasserproben der mit Dismozon und Baccalin behandelten Anlagen. Am Ende dieses Untersuchungszeitraumes bestand zwischen den unbewegten Labor- bzw. bewegten Betriebswässern kein Unterschied. Alle Proben blieben am Ende auf dem hohen Keimzahlniveau ohne Abnahme.

Eine mögliche Erklärung liegt in dem zusätzlichen Nährstoffangebot mit den quarternären Ammoniumverbindungen (Quats), die ein längeres Wachstum der Keime in dem System ermöglicht.

Am auffälligsten war das Wachstumsverhalten nach Betriebsbeginn. So war der stärkste Keimanstieg innerhalb des ersten Tages nach Betriebsbeginn zu verzeichnen. Diese Kinetik war für beide Desinfektionsverfahren identisch. Dieses Ergebnis wird auch durch die Untersuchung der Gesamtkeimzahlen in den Tagesprofilen am 1. und 7. Tag nach Betriebsbeginn deutlich. Im Vergleich bestand nur am 1. Tag ein starker Keimanstieg, in den Proben des 7. Entnahmetages blieb die Keimzahl konstant oder fiel sogar geringfügig ab.

Der steile Anstieg der Gesamtkeimzahl zu Betriebsbeginn läßt sich mit vorliegenden Publikationen nicht belegen. Pfeiffer (1972) fand bis zu 24 Std. nach Versuchsbeginn in einem beimpften Leitungswasser eine stetige Keimreduktion. Nach einer Latenzzeit von 24 Std. erfolgte ein konstantes Keimwachstum von *E. coli* und *C. albicans* im Leitungswasser von  $10^3$  KBE/ml bis auf  $10^6$  KBE/ml am 4. Tag.

Bei Botzenhart und Kufferath (1976) sank ebenfalls die Keimzahl nach Versuchsbeginn mit Pseudomonaden spez. zunächst von 2700 KBE/ml auf 830 KBE/ml am 1. Tag in sterilem Leitungswasser ab. Erst nach 3 - 4 Tagen kam es wieder zu einem Keimanstieg von  $2 \times 10^5$  KBE/ml.

Eine mögliche Erklärung für die differente Wachstumskinetik der Keimzahlen in den verschiedenen Laborversuchen liegt darin, dass in diesen Experimenten Laborkeime eingesetzt wurden, welche nicht an das Wassersystem adaptiert waren und deshalb nach einer gewissen Adaptationszeit zunächst abstarben. Die überlebenden Keime fingen erst später an, sich zu vermehren.

In den Betriebswasserproben wurde die autochtone Wasserflora untersucht, welche bereits an das Wassersystem adaptiert war. Deshalb starben die Keime nicht ab und konnten sich direkt nach dem Frischwasserzusatz vermehren.

Ein Beleg dafür sind die Untersuchungen von Dott (1983), der bereits am ersten Tag nach Versuchsbeginn einen Keimzahlanstieg nachwies. Er arbeitete ebenfalls mit autochtoner Wasserflora.

Die von uns untersuchte und an das Wasser angepaßte, autochtone Flora stammte mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht aus der Wäscherkammer, da diese desinfiziert war, sondern zum größten Teil aus dem Einspeisesystem.

#### **Faktor Einspeisewasser:**

Auffällig war, dass in unseren Untersuchungen im Einspeisewasser ein Keimgehalt von  $10 - 10^3$  KBE/ml nachweisbar war. Der empfohlene Richtwert von 1000 KBE/ml vom VDI, für einen hygienisch unbedenklichen Betrieb wurde

damit eingehalten. Dass bereits frisches entionisiertes Einspeisewasser über eine Keimzahl von bis zu 1000 KBE/ ml verfügt, wurde mit einer Biofilmbildung in technischen, wasserführenden Systemen erklärt (Tuschewitzki 1990). Die in den untersuchten Anlagen verwendeten Materialien wie Kupferrohr, Gummi-, Silikon- und PVC als Rohr- und Flanschverbindungen, können ebenfalls für einen hohen Keimgehalt in wasserführenden Systemen ursächlich sein (Schulze-Röbbeke und Fischeider 1989).

Zusätzlich können Ionentauscher und Membran-Druckausdehnungsgefäße bei längerer Laufzeit nach einer Vermehrung in diesem System zu einer Bakterienaussaat führen (Hengesbach et al.1993).

Schoenen und Schlömer (1989) untersuchten die mikrobielle Wandbesiedelung von verschiedenen Rohr- und Schlauchmaterialien. Dabei wurde mit Testkeimen kontaminiertes Wasser durch Rohrsysteme aus unterschiedlichen Materialien geleitet. Bei PVC, Silikon und Polyfluorethylen blieben die Keime bis zu 50 Tage nachweisbar, bei Gummi blieb die Besiedelung über viele Wochen erhalten. Die Besiedelung des Wassers im Kupferrohr war am geringsten und konnte nur noch wenige Tage nach der Kontamination nachgewiesen werden.

Metalle wie z.B. Kupfer können auch eine inhibitorische Wirkung auf das Keimwachstum haben (Fischer 1993). In Kupferrohren wies er diese inhibitorische Wirkung nur innerhalb der ersten 5 Jahre nach Installation nach. Da die in dieser Arbeit untersuchten RLT-Anlagen über ein ca. 30 Jahre altes Rohrnetz verfügten, war eine inhibitorische Wirkung, ausgehend von den Kupferrohren, demnach nicht mehr anzunehmen.

#### **Faktor Zuluft:**

Eine weitere Klärung der Frage war, ob der Keimanstieg zu Betriebsbeginn auch durch einen Bakterieneintrag von der Außenluft, z.B. über den Luftstrom beim Start der Wäscherkammer ursächlich war.

Dazu wurden die Laborprobenwässer, die aus der Wäscherkammer und unter Laborbedingungen gehalten wurden, mit den Betriebswässern zu

Betriebsbeginn verglichen. Weil die Laborproben vor Inbetriebnahme der RLT-Anlagen aus den Wäscherkammern gezogen wurden, war ein Eintrag von Keimen aus der Zuluft ausgeschlossen.

Da die Keimzahlen, in den im Labor gehaltenen Wasserproben, auch ohne Umwälzung im Luftstrom anstiegen, war ein Keimeintrag aus dem Luftstrom sicher nicht für die Keimvermehrung verantwortlich. Ein weiterer Beleg, dass der Luftstrom für einen Keimanstieg nicht verantwortlich sein kann, lieferten die Untersuchungen der Gesamtkeimzahlen im Tagesprofil des Wäscherkammerwassers am 7. Tag nach Betriebsbeginn. Hier kam es trotz eines bestehenden Lufteinstromes über den gesamten Tag, zu einer konstanten bzw. eher abnehmenden Gesamtkeimzahl.

#### **Faktor Latenzzeit des Keimwachstums bei Betriebs- und Laborwässern:**

Bei den Kurvenverläufen fiel auf, dass unterschiedliche Latenzzeiten bis zum Keimanstieg zwischen den Labor- und Betriebswässern bestanden. Während im laufenden Betrieb der RLT-Anlagen die Gesamtkeimzahl sofort zunahm, war in den Laborwässern eine Verzögerung des Keimanstieges von bis zu einem Tag messbar. Für diesen Befund liegen in der Literatur keinerlei Erklärungen vor.

Eine mögliche Erklärung besteht darin, dass Rückstände des Desinfektionsmittels im Wäscherwasser eine keimwachstumshemmende Wirkung haben. Dadurch ist ein verspätetes Aufkeimen im Laborwasser denkbar. Im Gegensatz dazu, kommt dieser Effekt im Betriebswasser wahrscheinlich nicht mehr zum Tragen, da die Desinfektionsmittelreste durch die Umwälzung ausgestrippt werden, bzw. schneller abgebaut werden könnten.

#### **Faktor Abschlämmvorgang:**

Eine weitere Frage war, welchen Einfluß der Abschlämmvorgang in den Wäscherkammern auf die Wachstumskurven in den Betriebswässern hatte? Wie schon in Material und Methoden beschrieben, wurde während der Betriebszeit, je nach Jahreszeit und Luftfeuchtigkeit, mehrmals täglich Wasser aus der Wäscherwanne abgelassen und durch Zulauf von entionisiertem Frischwasser ersetzt. Dabei wurde pro Abschlämmvorgang eine Menge von ca.

80-100 Liter Wasser ausgetauscht. Bei einem Fassungsvermögen von ca. 1600 Litern pro Wäscherkammer wurden max. 8 Abschlammvorgänge täglich durchgeführt. Das heißt es wurden maximal 800 Liter Wasser erneuert. Zur Klärung der Frage des Einflusses des Abschlammvorgangs auf die Wachstumskinetik, wurde der Vergleich der Ergebnisse aus den Betriebs- und Laborwässern herangezogen. Hier kam es während der gesamten Beobachtungszeiträume zu keinerlei wiederkehrenden Schwankungen der Keimzahlen in den Proben der Wäscherkammern. Die Kurvenverläufe vom Betriebs- und Laborwasser verliefen parallel. Auch in den Tagesprofilen konnten keine Schwankungen der Keimzahlen festgestellt werden. Somit hatte der Austausch von Wäscherwasser keinen sichtbaren Einfluß auf den Keimaufwuchs.

#### **Faktor Reinigungsverfahren und Reinigungszyklus:**

Den weitaus größten Einfluß auf die Wachstumskinetik hatte offensichtlich das Aufbereitungsverfahren. Vergleicht man die Keimzahlen der Betriebswässer nach unterschiedlichen Reinigungsverfahren, so wird deutlich, dass nach der kombinierten Desinfektion mit Dismozon und Baccalin im Betriebsverlauf die höchsten Keimzahlen erreicht wurden. Sie lagen bei 36°C ca. bei  $>10^6$  KBE/ml, während die einfach desinfizierten Anlagen nur Keimzahlen in Höhe von  $10^4$  KBE/ml erreichten. Insgesamt zeigte auch die Gesamtkeimzahl bei 22°C Bebrütungstemperatur ähnliche Kurvenverläufe, erreichte jedoch im Schnitt etwas höhere Keimzahlen als bei 36°C. Die Tatsache, dass bei 22°C höhere Keimzahlen erfasst werden ist bekannt, da mit der Verwendung des nährstoffarmen DEV-Nähragar bei 22°C Bebrütung mehr Wasserkeime erfasst werden.

Trotz einer gleichzeitigen Anwendung von 2 Desinfektionsmitteln wiesen die so behandelten Anlagen eine sehr hohe Verkeimung in den Wäscherkammerwässern auf. Dabei lagen die Gesamtkeimzahlen am Ende des Untersuchungszeitraumes beständig höher als die, der nur mit einem Desinfektionsmittel behandelten Anlagen. Dieses Resultat wurde in diesem Umfang nicht erwartet, da eine kombinierte Anwendung von zwei Desinfektionsmitteln eine weitestgehende Keimreduktion bewirken sollte. Auch

die Verkürzung des Reinigungszyklus von 4 auf 2 Wochen brachte keine Abflachung der Wachstumskurven im Wäscherkammerwasser. Im Gegenteil trat in dem 2- wöchigen Reinigungszyklus sogar eine höhere Keimzahl auf. Auch hier wurde erwartet, dass häufigeres Reinigen und Desinfizieren der Wäscherkammer zu einem geringeren Bakterienaufwuchs führt.

Eine Erklärung für die hohen Keimzahlen nach einer kombinierten Desinfektion könnte das gute Nährstoffangebot in der Wäscherkammer durch verbliebene Reste des Desinfektionsmittels unterhalb der Wirkdosis sein. So sind minimale Mengen an organischem Kohlenstoff ein begünstigender Faktor für eine schnelle und hohe Verkeimung, wobei auch Spuren von quarternären Ammoniumverbindungen als Nährstoffquelle dienen (Dunkelberg et al. 1976, Volk 2001, Liu et al. 2002).

Zur Desinfektion von RLT-Anlagen sind verschiedene Verfahren und Desinfektionsmittel auf dem Markt. Die überwiegende Anzahl der üblichen Desinfektionsmittel lassen sich aus toxikologischen oder technischen Gründen nicht für den Einsatz während des Betriebes einer Klimaanlage verwenden. Bei einer ungesteuerten Zugabe von Desinfektionsmittel besteht zum Einen die Gefahr, dass zuviel Desinfektionsmittel zugegeben wird, mit der Folge, dass mögliche toxische Wirkungen oder gesundheitliche Mißempfindungen auftreten (Roßkamp 1990, Nagorka et al. 1990). Desweiteren könnte die Konzentration des Desinfektionsmittels zu gering gewählt werden, wodurch es zu einer Verkeimung der Anlage kommen kann.

Dermitzel et al. (1992) kamen zu dem Ergebnis, dass in mit Bioziden behandelten Wäscherkammern Keimzahlen nur kurzfristig oder unwesentlich gesenkt werden. In 90 % der Wäscherkammern konnten die zugesetzten Biozide nicht mehr nachgewiesen werden. Damit ist der Verlust der gewünschten bioziden Wirkung auf Mikroorganismen nachgewiesen. Wichtig ist aber, dass sie für die Mikroorganismen als Nährstoffquelle erhalten bleiben. Dermitzel geht weiter davon aus, dass die toxikologischen Nebenwirkungen auf den Menschen in klimatisierten Räumen noch voll erhalten bleibt.

In einer Untersuchung von Merö (1984) wurde gezeigt, dass auch nach Einhaltung der Anwendungsvorschriften vieler Desinfektionsmittel von Seiten des Herstellers noch Bakterienwachstum möglich war. Meist trat eine anhaltende bakterizide Wirkung erst in viel höheren Konzentrationen als empfohlen auf.

Wie die vorliegende Untersuchung zeigt, läßt sich auch mit einer Kombination von Desinfektionsmitteln und häufigeren Anwendungen von Desinfektionsmaßnahmen keine optimale Keimreduktion erzielen. Vor allem konnte auch die Aufkeimung in dem Wäscherkammerwasser nicht verhindert werden. In unseren Untersuchungen wurde sogar noch ein Bakterienwachstum gefördert.

Differenziert man das Keimspektrum und betrachtet nur den Gehalt an Pseudomonaden in dieser Untersuchung, so fällt auf, dass die höchsten Keimzahlen mit Werten um  $10^7$  KBE/ml in den Laborwässern nachgewiesen wurden. Mit Ausnahme der Anlagen, die nur mit Dismozon gereinigt wurden, konnte ein Anstieg des Pseudomonadengehaltes sowohl in den stationären Laborwässern als auch in den Betriebswasserproben nachgewiesen werden, wobei sich die Kurvenverläufe gleich verhielten. Die mit Dismozon desinfizierten Anlagen wiesen dagegen einen nicht so starken Pseudomonadenanstieg in den Betriebswässern auf. Auffällig war hierbei, dass bei dieser Art von Desinfektion der Anteil von Pseudomonaden an der Gesamtkeimzahl nur 10% ausmachte.

Jäggi und Schmidt-Lorenz (1990) berichteten in ihren Versuchen zur Wiederverkeimung in Trinkwasser, dass sich in stagnierenden Trinkwasserproben die Gesamtkeimzahlen bis zu 90% aus Pseudomonaden zusammensetzten. In vorliegender Untersuchung wurden gleiche Zahlen nachgewiesen. Besonders im kombinierten Reinigungsverfahren mit Dismozon und Baccalin entsprach die Pseudomonadenkeimzahl fast der Gesamtkeimzahl.

Nach Spielmann und Werner (1984) ist natürlicherweise bei einer erhöhten Keimzahl von Pseudomonaden ab einem Wert von  $>10^2$  KBE/ml in Stagnations- und Standwässern auch mit einer Begleitflora, bestehend aus Staphylokokken, Streptokokken, Enterobakterien und Sproßpilze zu rechnen. Im Gegensatz zu

dieser Publikation, wurde in unserer Untersuchung kein erhöhtes zusätzliches Vorkommen oder zusätzliches Wachstum von Pilzen, coliformen Keimen und Legionellen gefunden.

In vorliegender Untersuchung hatte bezüglich Vorkommen von Pilzen, E.coli, coliformen Keimen und Legionellen weder die Aufbereitung der RLT-Anlage mit 1 oder 2 Desinfektionsmitteln, noch der Reinigungszyklus einen Einfluß. Auch bestand zwischen stationärem Labor- und Betriebswasser kein Unterschied im Nachweis dieser Keime.

### **Schlußfolgerung:**

Insgesamt war festzustellen, dass unterschiedliche Aufbereitungen der Wäscherkammern mit einem Desinfektionsmittel oder einer Kombination aus 2 Desinfektionsmitteln, nicht den gewünschten Effekt einer Hemmung der Wachstumskinetik der Bakterienflora in den Betriebswässern hatte.

Zusätzlich wurde deutlich, dass im Vergleich zur einfachen Desinfektion, die Kombination von 2 Desinfektionsmitteln eher zu einem erhöhten Anstieg der Keimzahlen, aber auch der Pseudomonadenkonzentration in den Wäscherkammerwässern führte.

Auch die Verkürzung des Reinigungszyklus hatte eher eine stärkere Verkeimung zur Folge, diese zeigte sich in dem konstant hohen Keimzahlniveau im Betriebswasser der 2-wöchig desinfizierten Anlagen.

Beachtenswert war, dass der Abschlammvorgang mit gleichzeitiger Zufuhr von Frischwasser, die Wachstumskurven der Betriebswässer nicht beeinflusste.

Eine Anhebung des Keimgehaltes im Wäscherwasser durch unsterile Luftzufuhr konnte durch den Vergleich von Labor- und Betriebswasser ausgeschlossen werden.

Um eine Gefährdung der im Gebäude arbeitenden Personen durch RLT-Anlagen auszuschließen, wurden grundlegende Veränderungen empfohlen.

Als Konsequenz aus den vorliegenden Untersuchungen wurden die Wäscherkammern und wasserführenden Rohrsysteme des Zulaufs mit einer kontinuierlichen UV-Desinfektion versehen. Dabei handelt es sich um Belichtungseinheiten, welche innerhalb des Wasserkreislaufes an der Entnahmestelle und in der Wäscherkammer installiert wurden.

In den Folgeuntersuchungen wurden keine Erhöhungen der Ausgangskeimzahlen und kein mikrobieller Aufwuchs mehr über einen längeren Zeitraum beobachtet (pers. Mittlg. Pfeiffer).

## 6. Zusammenfassung

Lüftungstechnische Anlagen stellen durch Verunreinigungen mit Bakterien, Schimmelpilzen und Endotoxinen eine Gefahr für die Gesundheit dar. Das größte Keimreservoir in RLT-Anlagen ist die Wäscherkammer, welche die meist verwendete Form von Befeuchtungseinheiten in Klimaanlagen ist.

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss von Reinigungs- und Desinfektionsverfahren einschließlich der Aufbereitungszyklen sowie des Abschlammvorganges zu erfassen. Weiter wurde untersucht, ob die Verkeimung der Wäscherkammerwässer durch einen Bakterieneintrag aus der Außenluft bedingt war.

Aus den durchgeführten Untersuchungen wurde deutlich, dass der Einsatz einer Kombination von 2 Desinfektionsmitteln zur Aufbereitung der Anlagen, zu keiner Hemmung der Bakterienwachstumskinetiken in der Wäscherkammer führte. Im Gegenteil war ein erhöhtes Bakterienwachstum im Vergleich zum Einsatz nur eines Desinfektionsmittels festzustellen.

Die Verkürzung des Reinigungszykluses von 4 auf 2 Wochen bewirkte, dass die Gesamtkeimzahl am Ende der Untersuchungszeit in den 2-wöchig desinfizierten Anlagen konstant hoch blieb, während die Anlagen im 4-wöchigen Desinfektionszyklus abfallende Keimzahlen zeigten.

Der Abschlammvorgang während der Betriebszeit beeinflusste das Keimverhalten nicht. Ebenso wenig konnte ein Einfluß auf die Keimzahl durch einen möglichen Eintrag von Bakterien aus dem Luftstrom in die Wäscherkammer festgestellt werden.

Die Pseudomonadengehalte der Wäscherkammerwässer wurden in Folge der unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren deutlich verändert. So machte die Pseudomonadenkonzentration in den mit 2 Desinfektionsmitteln aufbereiteten Anlagen einen Anteil von 90% an der Gesamtkeimzahl aus. In den einfach

desinfizierten Anlagen erreichte der Pseudomonadengehalt lediglich 10% der Gesamtkeimzahl.

Der Gehalt an E.coli, coliformen Keimen, Legionellen und Pilzen blieb trotz Veränderungen des Desinfektionsverfahrens und des Desinfektionszykluses sowie des Abschlammvorganges unbeeinflusst.

An Hand der Ergebnisse wurde deutlich, dass die wichtigste Aufgabe im Betrieb der RLT-Anlagen darin besteht, ein wirkungsvolles Aufbereitungsverfahren zu installieren. Da kein Desinfektionsmittel ausreichte um eine adäquate Keimreduktion während des Betriebes zu gewährleisten, wurde auf eine völlig andere Desinfektionsmethode ausgewichen.

Es wurde eine UV-Desinfektion in den Wäscherkammern und in den Rohrsystemen montiert. Diese lieferte zufriedenstellende Ergebnisse, so dass die Richtwerte für Keimgehalte in Wäscherkammerwässer nicht mehr überschritten wurden.

## 7. Literaturverzeichnis

- Bascom, R. (1991). "The upper Respiratory Tract: Mucosus Membrane Irritation." *Environ Health Perspect* 95: 39-44
- Baumert, A., Ansorge, Ch., et al. (1998). "Vorkommen von Legionellen in Warmwassersystemen in Sachsen-Anhalt." *Gesundheitswesen* 60: 762-765
- Baur, X., Behr, J., et al. (1988). "Humidifier Lung and Humidifier Fever." *Lung* 166: 113-124
- Boe-Hansen, R. (2001). "Microbial growth in drinking water distribution system." PhD dissertation Tecnical University of Denmark, Lyngby
- Botzenhart, K., Kufferath, R. (1976). "Über die Vermehrung verschiedener Enterobacteriaceae sowie Pseudomonas aeruginosa und Alkaligenes spec. in destilliertem Wasser, entionisiertem Wasser, Leitungswasser und Mineralsalzlösung." *Zbl Bakt Hyg, I Abt. Org. B* 163: 470-485
- Burge, P. S. (2004). "Sick building syndrome." *Occup Environ Med* 61: 185-190
- Ciesielski, C. A., Blaser, M. J., et al. (1984). "Role of Stagnation and Obstruction of Water Flow in Isolation of Legionella pneumophila from Hospital Plumbing." *Appl Environ Microbiol* 48, No.5: 984-987
- Cooley, J. D., Wong, W. C., et al. (1998). "Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome." *Occup Environ Med* 55: 579-584
- Cowgill, K. D., Lucas, C. E., et al. (2005). "Recurrence of Legionnaires Diseases at a Hotel in the United States Virgin Island over a 20-Year Period." *Clin Infect Dis* 40: 1205-1207
- Dermitzel, A., Geuenich, H.-H., et al. (1992). "Legionellen und andere Bakterien in Umlaufsprühbefeuchtern und Rückkühlwerken von Klimaanlage – eine Bestandsaufnahme." *Gesundheitswesen* 54: 716-719
- DIN (1994). DIN 1946 – 2. "Raumluftechnik Teil 2- Gesundheitstechnische Anforderungen." Deutsches Institut für Normung
- DIN (1999). DIN 1946 – 4. "Raumluftechnik Teil 4- Raumluftechnische Anlagen in Krankenhäusern." Deutsches Institut für Normung
- DIN (1994). DIN EN 779. "Partikel-Luftfiltern für die allgemeine Raumluftechnik." Deutsches Institut für Normung
- Dott, W. (1983). "Qualitative und quantitative Bestimmung von Bakterienpopulationen aus aquatischen Biotopen. 6. Mitteilung." *Zbl Bakt Hyg, I. Abt. Org. B* 178: 263-279

Dunkelberg, H., Pfeiffer, E. H., et al. (1976). "Hygienisch-bakteriologische Vergleichsuntersuchungen an 50 Krankenhäusern. IV. Die bakterielle Kontamination von Flüssigkeiten aus Intensivpflege-, Frühgeborenen-, und Neugeborenenstationen." Zbl Bakt Hyg, I. Abt. Org. B 161: 417-426

Elixmann, J. H. (1988). "Filter einer lufttechnischen Anlage als Ökosystem und als Verbreiter von Pilzallergenen." Duster-Verlag München-Deisenhofen

Essen v., S., (1999). "Respiratory Symptoms and Farming Practices in Farmers Associated with an acute febrile illness after Organic Dust Exposure." Chest 116: 1452-1458

Exner, M., Tuschewitzki, G.-J., et al. (1987). "Beeinflussung von Biofilmen durch chemische Desinfektionsmittel und mechanische Reinigung." Zbl Bakt Hyg, B 183: 549-563

Exner, M., Schulze-Röbbeke, R. (1987). "Legionellen- Epidemiologie, Ökologie, Infektionsquellen und präventive Maßnahmen." Öffentl Gesundheitswes 49: 90-96

Fields, B. S., Haupt, T., et al. (2001). "Pontiac Fever Due to Legionella micdadei from a Whirlpool Spa: Possible Role of Bacterial Endotoxin." J Infect Dis 184: 1289-1292

Finnegan, M. J. (1984). "The sick building syndrome: Prevalence studies." Br Med J 289: 1573-1575

Fischer, A. (1993). "Über den Einfluß von Rohrmaterialien des Trinkwasser-netzes auf die Besiedelung mit Legionella spp." Med. Dissertation. Universität Berlin

Flaherty, D. K., Deck, F. H., et al. (1984). "Bacterial Endotoxin isolated from a Water Spray Air Humidification System as a Putative Agent of Occupation-Related Lung Disease." Infection and Immunity 43: 206-212

Hengesbach, B., Schulze-Röbbeke, R., et al. (1993). "Legionellen in Membran-Druckausdehnungsgefäßen." Zbl. Hyg. 193: 563-566

Heudorf, U., Hentschel, W., et al. (2001). "Legionellen im hauseigenen Warmwasser- Auswirkungen auf die Gesundheit der Bewohner." Gesundheitswesen 63: 326-334

ISO CD 8199.(1988-06) "Water quality general guidance on the enumeration of microorganism by culture."

Infektionsschutzgesetz (2001). "Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen." BGBL I S.2960

Jäggi, N. E., Schmidt-Lorenz, W. (1990). "Bakterielle Wieder-Verkeimung im Trinkwasser IV. Mitteilung: Bakterienflora in Frisch-und Stagnationswasser bei der Trinkwasseraufbereitung und im Trinkwasser- Verteilersystem." Zbl Hyg 190: 217-235

Jones, T. F., Benson, R. F., et al. (2003). "Epidemiologic Investigation of a Restaurant-Associated Outbreak of Pontiac Fever." Clin Infect Dis 37: 1292-1297

Kämpfer, P., Engelhart, S., et al. (2005). "Extrinsic Allergic Alveolitis (Hypersensitivity Pneumonitis) Caused by Sphingobacterium spiritivorum from the Water Reservoir of a Steam Iron." J Clin Microbiol 43 (9): 908-910

Kampen v., V., Merget, R., Baur, X. (2000). "Occupational Airway Sensitizers: An Overview on the Respective Literature." Am J Ind Med 38: 164-218

Kröling, P. (1989). "Zur Problematik des sick building-Syndroms." Allergologie 12, Nr. 3: 118-129

Kubo, T., Mizoue, T., et al. (2006). "Visual Display Terminal Work and Sick Building Syndrome-The Role of Psychosocial Distress in the Relationship." J Occup Health 48: 107-112

Liu, W., Wu, H., et al. (2002). "Investigation of assimilable organic carbon (AOC) and bacterial regrowth in drinking water distribution system." Wat Res 36: 891-898

Merö, E. (1984). "Bakterizide Wirkung gängiger Desinfektionsmittel auf Legionella pneumophila." Öffentl Gesundheitswes 46: 99-101

Minder, S., Nicod, L. P. (2005). "Exogen allergische Alveolitis (Hypersensitivitätspneumotitis)." Schweizer Med. Forum 5: 567-574

Mörchen, H. (2002). "Hygiene in raumluftechnischen Anlagen." Expert Verlag Band 631

Möritz, M., Peters, H., et al. (2001). "Mikroorganismen und Endotoxine in Raumluftechnischen Anlagen." Gesundheitsingenieur 122 (1): 3-14

MSD Manual der Diagnostik und Therapie, 6. Auflage (2000). "Lungenkrankheiten." Kap. 73: 742-743

Muder, R. R., Yu, V. L. (2002). "Infection Due to Legionella Species other than L. pneumonia:" Clin Infect Dis 35: 990-998

Mühlenberg, W. (1988). "Vorkommen und Bedeutung von Legionellen in raumluftechnische Anlagen." Öffentl Gesundheitswes 50: 89-95

Mühlenberg, W. (1993). "Tödliche reiseassoziierte Legionellainfektion durch Duschaerosole in einem deutschen Hotel." Gesundheitswesen 55: 653-656

Müller, R. W. (1972). "Aerogene Infektionen über Klimaanlageanlagen und Belüftungseinrichtungen." Prax. Pneumolog. 26: 401-403

Müller-Wening, D., Koschel, D., et al. (2005). "Befeuchterassoziierte Erkrankungen bei der Allgemeinbevölkerung."  
Dtsch Med Wochenschr 131: 491-496

Nagorka, R., Roßkamp, E., et al. (1990). "Zur Bewertung von Befeuchteranlagen im Rahmen der Raumklimatisierung."  
Öffentl Gesundheitswes. 52: 168-173

Ohnishi, H., Yokoyama, A., et al. (2002). "Humidifier Lung: Possible Contribution of Endotoxin-induced Lung Injury."  
Intern Med 41, No. 12: 1179-1182

Pfeiffer, E. H. (1972). "Hygienische Beurteilung von Lebensmittelverpackungsmaterial ( Kunststoff im Vergleich zu Pappmache )."  
Zbl Bakt Hyg, I. Abt. Orig. B 156: 446-455

Pleischel, S., Engelhart, S., et al. (2001). "Klinische und rechtliche Aspekte der Prävention und Kontrolle von Legionella-Infektionen."  
Umweltmed Forsch Prax 6 (4): 193-201

Pleischel, S. (2004). "Zum Vorkommen von Legionellen in wasserführenden, technischen Systemen und der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen unter Praxisbedingungen." Med. Dissertation. Universität Bonn

Radon, K., Nowak, D. (2003). "Atemwegs- und Lungenerkrankungen in der Europäischen Landwirtschaft." Pneumologie 57: 444-448

Rieth, H. (1973). "Toxinogene Pilze in Klimaanlageanlagen."  
Dermatol Monatsschr 159 (4): 376

Ring, J., 3. Auflage. (2004). "Angewandte Allergologie." Urban+Vogel: 32-36

Robert Koch Institut (2005). "Legionellose in Deutschland 2004."  
Epid Bull 48: 447-456

Robert Koch Institut (2006). "Ratgeber Infektionskrankheiten, Legionellose."  
Aktualisierte Fassung vom Jan. 2006. Erstveröff. im Epid. Bull 49/1999

Roßkamp, E. (1990). "Raumluftechnische Anlagen - ein gesundheitliches Problem." Bundesgesundheitsblatt 33(3): 117-121

Schata, M. (1995). "Allergische Erkrankungen im Innenraum."  
Zbl Hyg 197: 196-211

- Schneitler, H. (1991). "Legionellen – ein Problem der Technologie." Öffentl Gesundheitswes 53: 593-595
- Schoenen, D., Schlömer, G. (1989). "Mikrobielle kontamination des Wassers durch Rohr- und Schlauchmaterialien. 3. Mitteilung: Verhalten von E.coli, Citrobacter freundii und Klebsiella pneumoniae." Zbl Hyg 188: 475-480
- Schoenen, D. (1986). "Neuere Untersuchungen zur Wiederverkeimung des Trinkwassers." Zbl Hyg, B. 183: 70-78
- Schulze-Röbbeke, R., Fischeider, R. (1989). "Mycobacteria in Biofilms." Zbl Hyg 188: 385-390
- Seifert, B. (1991). "Das sick building-Syndrom." Öffentl Gesundheitswes 53: 376-382
- Spielmann, M., Werner, H.-P., (1984). "Mikrobiologische Kontamination von Wasserstellen medizinischer Geräte in Krankenhäusern von Rheinland-Pfalz." Hyg Med 9: 248-257
- Stout, J. E., Yu, V. L. (1997). "Current Concepts: Legionellosis." N Engl J Med 337(10): 682-687
- Suda, T., Sato, A. (1995). "Hypersensitivity pneumonitis associated with home ultrasonic humidifiers." Chest 107: 711-717
- Tuschewitzki, G.-J. (1990). "Induktion einer mikrobiellen Wandbesiedelung in trinkwasserdurchströmten Kupferrohren." Zbl Hyg 190: 62-71
- TVO (1990). "Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung). "
- Uerlings, A., Lütticken, R., et al. (1986). "Vorkommen von Legionellen in Wässern von Klimaanlage und Naßzellen im Bereich Nordrhein." Öffentl Gesundheitswes 48: 325-328
- Umweltbundesamt (2004). "Mikroorganismen in der Umgebung von Bioabfallbehandlungsanlagen." [www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft](http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft)
- VDI (1998). VDI 6022. "Hygienische Anforderungen an Raumluftechische Anlagen in Büro- und Versammlungsräume."
- Volk, Ch. J. (2001). "Biodegradable Organic Matter Measurement and Bacterial Regrowth in Potable Water." Methods in Enzymol 337: 144-170
- Welch, L. S. (1991). "Severity of Health Effects Associated with Building – Related Illness." Environ Health Perspect 95: 67-69
- Werner, H.-P., Pietsch, M. (1990). "Stellenwert der Maßnahmen zur Legionellose-Prophylaxe." Öffentl Gesundheitswes 52:226-231

WHO (1983). "Indoor air pollutants: exposure and health effects." Report on a WHO meeting, Nördlingen, 8-11 June 1982 Euro Reports and Studies

Wiesmüller, G.A., Bischof, W. (2006). "Gebäudebezogene Gesundheitsstörungen." *Prakt Arb med* 4: 26-30

Wolf, C., Barth, A. (2002). "Befindlichkeitsstörungen ohne Befund - moderne Syndrome." *Internist (Berl)* 43: 833-839

Yu, V. L., Plouffe, J. F., et al. (2002). "Distribution of Legionella Species and Serogroups isolated by Culture in Patient with sporadic Community-Acquired Legionellosis: An International Collaborative Survey." *J Infect Dis* 186: 127-128

## 8. Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. E. H. Pfeiffer sehr herzlich für die engagierte, fachliche Anleitung und Betreuung meiner Dissertation sowie für die verständnisvolle Unterstützung und ständige Bereitschaft für wissenschaftliche Diskussionen, die mir ein hilfreicher Ansporn bei der Überwindung von Schwierigkeiten waren.

Herrn Dr. med. G. Nordholt danke ich für den professionellen Beistand bei der Durchführung der Versuche und der Aufbereitung der Daten. Seine konstruktiven Ratschläge waren wertvolle Anregungen bei der Anfertigung meiner Arbeit. Desweiteren möchte ich mich für seine unermüdliche Unterstützung bei allen labortechnischen Fragestellungen bedanken.

Weiterhin danke ich Frau Duske für ihre Hilfsbereitschaft und gute Einweisung in die mikrobielle Laborarbeit. Sie hat selbst in den nächtlichen Einsätzen für eine nette Zusammenarbeit gesorgt und war mir bei der Durchführung der Versuche eine große Hilfe.

Zusätzlich möchte ich mich bei dem gesamten technischen Personal der RLT-Anlage für die Erlaubnis und die Unterstützung bei der Probenentnahme sowie für die Auskünfte über Einzelheiten der RLT-Anlage bedanken.

## 9. Lebenslauf

- Persönliche Daten:** Sabine Harder, geboren am 03.12.1964 in Hamburg  
verheiratet, 1 Kind
- Schulbildung:** 1971-1985 Grundschule und Abitur in Hamburg
- Berufsausbildung:** 1985-1989 Ausbildung zur Chemielaborantin
- Erziehungsurlaub:** 1990-1996
- Studium:** 1996-2002 Studium der Humanmedizin an der  
Universitätsklinik Hamburg Eppendorf
- Approbation:** 2004
- Facharztausbildung:** 2002-2004 AK St. Georg, Hamburg Dermatologie  
2004 Nordsee-Rehaklinik St.Peter Ording  
Fachabteilung Dermatologie  
2005-2007 Praxis Prof. Dr. med. H. Mensing  
05/2007 Praxis Dr. med. W. Spallek

### **Eidesstattliche Versicherung:**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Sabine Harder